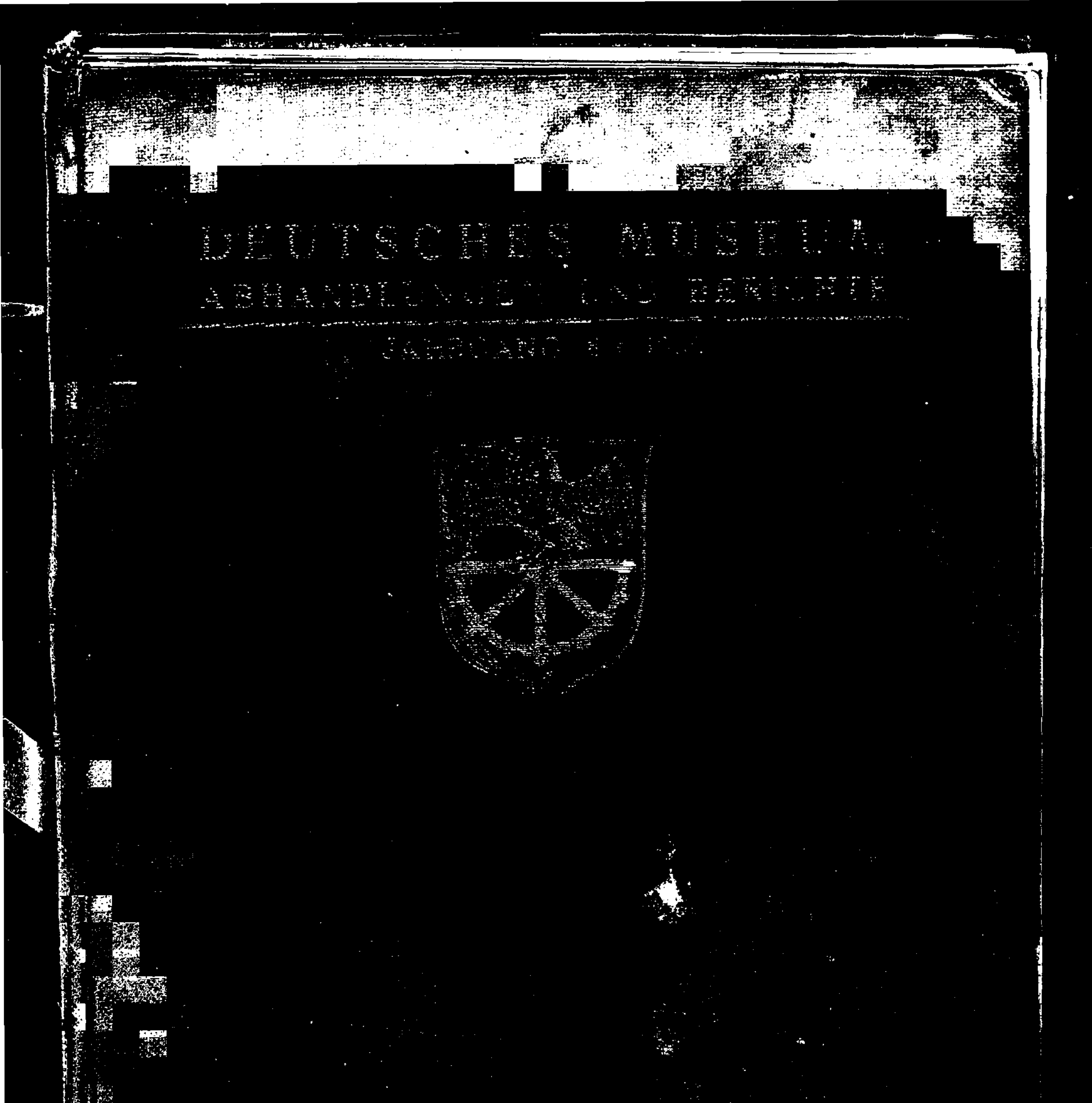
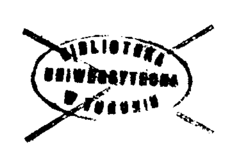

DEUTSCHES MUSEUM
ABHANDLUNGEN UND BERICHTE
JAHRGANG


Stadt-
Bibliothek
Elbing



DEUTSCHES MUSEUM
ABHANDLUNGEN UND BERICHTE

8. JAHRGANG / 1936



MIT 88 ABBILDUNGEN
UND 7 BILDNISSEN

1 9 3 6

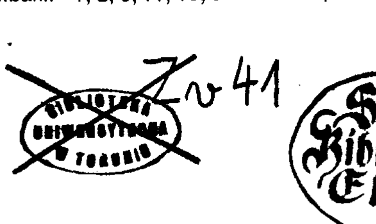
VDI-VERLAG GMBH / BERLIN NW 7

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DES DEUTSCHEN MUSEUMS VON:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. J. ZENNECK VDI, München
Prof. Dr. phil. h. c. Dr.-Ing. E. h. C. MATSCHOSS VDI, Berlin, Direktor des Vereines deutscher Ingenieure

Zuschriften sind zu richten an die Abteilung für technisch-geschichtliche Arbeiten des VDI, Berlin NW 7, Ingenieurhaus

---





INHALTVERZEICHNIS

Größe und Masse der Moleküle und Atome

Von *E. Rüchardt*, München

Wer eine Reise in ein fremdes Land unternimmt, und nur wenig Zeit hat, tut nicht gut daran, mit dem Baedeker in der Hand die Sehenswürdigkeiten mit einem oder mehreren Sternen in Augenschein zu nehmen. Er wird einen weit größeren Gewinn von der Reise haben, wenn er gerade nur das betrachtet, was ihm von Hause aus vertraut ist, die Landschaft, die Pflanzen und Tiere des Landes, das Leben der Menschen, ihre Kleider und Häuser, ihre Sprache und ihre Gebärden, ihre Gewohnheiten und Sitten.

Wir wollen in den folgenden Seiten einen kurzen Blick tun in das fremde und an Wundern so reiche Land der Moleküle und Atome; und auch hier wollen wir uns nach Möglichkeit an uns vertraute Dinge und Begriffe halten. Wir werden keine durch ihre Unübersichtlichkeit Staunen erregenden Anordnungen kennenlernen und keine häufig mehr Scheu als Ehrfurcht einflößenden Formeln hören. Die Wahrheit ist immer einfach, und wenn wir sie nicht immer so einfach sagen können wie wir gerne möchten, so liegt das an unserem eigenen Unvermögen.

Über den Aufbau unserer Körperwelt nun können wir schon viel Wissenswertes erfahren, wenn wir uns ein paar vertraute Dinge etwas näher ansehen, die wir fast in jedem Haushalt dauernd verwenden: etwas Seife, ein wenig Öl, Wasser in einer Schale, eine gewöhnliche Kerze, ein paar Stückchen Kampfer oder ein Stück Glimmer. Solcher Art werden unsere Sehenswürdigkeiten sein. Eine Waage, ein Mikroskop und etwas gewöhnliches Licht ferner sind keine Hilfsmittel, die allzu anspruchsvoll erscheinen werden. Dies Wenige wird schon ausreichen, um uns ziemlich weitgehende Kenntnisse über den körnigen, molekularen Aufbau der Materie zu vermitteln und wird uns sogar ermöglichen, die Größe der Moleküle und Atome recht genau auszumessen. Auch über die wahren Gewichte, die wirklichen Massen dieser Bausteine, werden wir etwas erfahren. Die Chemiker sagen uns in ihren Atom- und Molekulargewichten ja nur, wievielmal so schwer irgend ein Atom eines chemischen Elementes oder irgend ein Molekül einer chemischen Verbindung ist wie das leichteste Atom, das Atom des Wasserstoffs. Wir aber möchten gerne wissen, wieviele Bruchteile eines Gramms solch ein Atom eigentlich wiegt.

Natürlich wäre es uns am liebsten, wir könnten ein einzelnes Atom mit einem Maßstab ausmessen und mit einer Waage wägen.

So einfach geht das aber nicht. Man kann sich schon durch fast alltägliche Erfahrungen davon überzeugen, daß die Moleküle und Atome winzige Gebilde von sehr kleiner Masse sein müssen. Wenn wir auf einer sehr empfindlichen Waage eine kleine Menge eines starken Riechstoffs, z. B. Moschus, aufstellen. so können wir sehr bald in einem großen Saal den Geruch wahrnehmen; d. h. aber, daß sich so viel von dem Stoff verflüchtigt hat, daß sich überall im großen Raum zahlreiche Moleküle des Stoffes befinden. Trotzdem würde die Waage noch kaum eine merkliche Abnahme des Gewichtes anzeigen. Wenn man in eine nicht leuchtende Bunsenflamme eine Spur Natrium oder eines Natrium enthaltenden Stoffes, z. B. etwas gewöhnliches Glas, hineinbringt, so sieht man sofort die kennzeichnende gelbe Flammenfärbung, die durch leuchtenden Natriumdampf hervorgerufen wird. Man hat nachweisen können, daß der vierzigste Teil eines Millionstel eines tausendstel Gramm Natrium genügt, um eine gerade eben noch merkliche Flammenfärbung hervorzurufen, und in dieser winzigen Menge müssen noch sehr viele Atome des Natriums enthalten sein. Das leichteste und man darf wohl sagen auch das kleinste Atom, das des Wasserstoffs, vermag unter gewissen Bedingungen sogar durch die Poren zwischen den Atomen eines festen Metalls hindurchzudringen. Abb. 1 zeigt ein Entladungsrohr aus Glas, das ganz luftleer gemacht ist. Wenn man an die zwei eingeschmolzenen Metallelektroden die hohe Spannung eines Induktoriums anlegt, geht kein Strom durch das Rohr. Ferner ist bei P ein ganz luftdicht abgeschlossenes Röhrchen aus dem Metall Palladium eingeschmolzen. Wenn man dieses Röhrchen mit einer Flamme, die Wasserstoff enthält, z. B. mit einer Alkoholflamme, etwas erwärmt, dringen die Wasserstoffatome durch die erhitzte Metallwand in das Innere des Entladungsrohres ein. Es geht sofort eine Entladung durch das Rohr und man sieht eine rotblaue Lichterscheinung. Man kann sich mit Hilfe eines Spektroskops leicht davon überzeugen, daß es sich um das Leuchten des Wasserstoffs handelt.

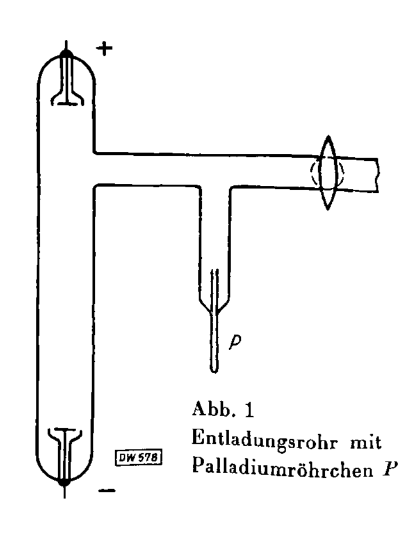


Abb. 1
Entladungsrohr mit Palladiumröhrchen P

Die Atome und Moleküle sind so kleine Gebilde, daß es unzweckmäßig wäre, ihre Größe in Millimetern anzugeben. Würde man

eine große Anzahl von Atomen nebeneinanderlegen, so würden auf einen Millimeter ungefähr ebensoviele gehen als Blätter Papier von einigen Zehntel Millimeter Dicke in einem Stapel enthalten sind, der 1 km hoch ist. Man wählt daher als Längeneinheit besser den hundertmillionsten Teil eines cm oder den zehnmillionsten Teil eines mm, die sog. „Ångströmeinheit“[1]). Die kleinsten Bakterien, die wir kennen und die man unter besonders günstigen Bedingungen gerade noch unter dem Mikroskop sichtbar machen kann, sind etwa ein halbes Tausendstel Millimeter groß, das sind 5000 Ångström. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes am äußersten blauen Ende des Spektrums beträgt etwa 4000, die am äußersten roten Ende etwa 7700 Ångström. Alle diese Größen sind noch einige tausendmal größer als die Dimensionen der Atome.

I. Die Größe der Atome und Moleküle

1. Farben dünner Plättchen

Wir wollen uns nun eine sehr dünne Luftschicht veränderlicher Dicke verschaffen, indem wir eine sehr schwach gewölbte kugelige Glaslinse auf eine ebene Glasplatte auflegen, Abb. 2. Wenn man von

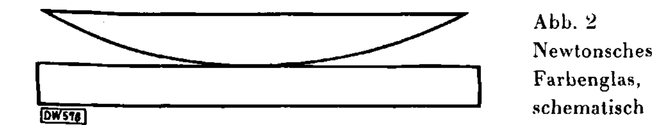


Abb. 2
Newtonsches Farbenglas, schematisch

dieser Anordnung Licht reflektieren läßt, so wird das Licht z. T. von der Vorderseite, z. T. von der Rückseite der dünnen Luftschicht zurückgeworfen. Wenn sich diese beiden Lichtwellen wieder vereinigen und es trifft ein Wellenberg der einen Welle auf einen Wellenberg der anderen und ebenso ein Wellental auf ein Wellental, so entsteht vermehrte Helligkeit. Trifft aber bei der Vereinigung der beiden Wellen das Wellental der einen auf einen Wellenberg der anderen, so löschen sich die Wellen aus und es entsteht Dunkelheit. Diese Interferenzerscheinung, die man als Newtonsche Ringe bezeichnet, in einfarbigem Licht zeigt Abb. 3. Ob Dunkelheit oder Helligkeit entsteht, hängt von dem Gangunterschied der beiden Wellen, d. h. von der Dicke der Luftschicht an der betreffenden Stelle und der Größe der Lichtwellenlänge ab. Da die Luftschicht nach außen allmählich dicker wird, auf einem Kreise um den Berührungspunkt von Linse und Platte aber überall gleich dick ist, sind dunkle und helle Ringe um den Berührungspunkt als Zentrum, das selbst dunkel ist, zu sehen. Im blauen Licht sind die Ringe enger als im roten, weil die Wellenlänge des blauen Lichtes kleiner ist als die des roten. Der Dicken-

[1]) Nach dem schwedischen Physiker Ångström.

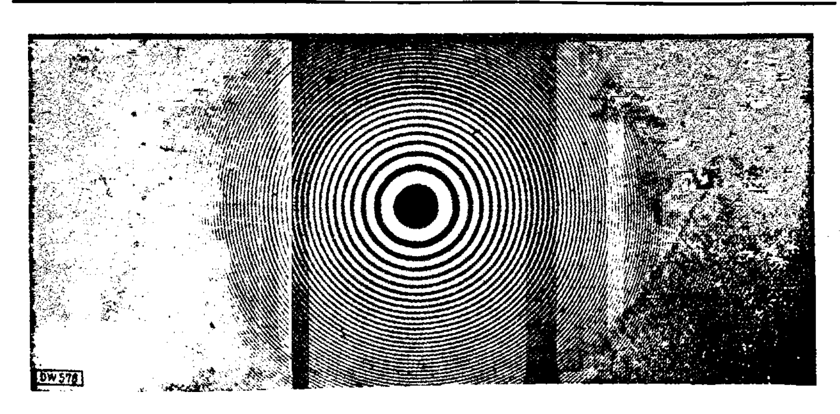


Abb. 3. Newtonsche Ringe in reflektiertem, einfarbigem Licht (Nach *R. W. Wood*)

unterschied der Luftschicht beim Übergang von einem dunklen zum benachbarten dunklen oder von einem hellen zum benachbarten hellen Ring beträgt gerade eine Wellenlänge. Da man, wenn die Krümmung der Linse bekannt ist, leicht die Dicke der Luftschicht an jeder Stelle angeben kann, läßt sich mit dieser Anordnung die Wellenlänge eines einfachen, einfarbigen Lichtes messen. Verwendet man statt einfarbigen Lichtes weißes Licht, also ein Gemisch aus allen möglichen einfachen Lichtsorten, so entstehen farbige Ringe. In Zahlentafel 1

Zahlentafel 1

Farbe	Dicke der Luftschicht in Å	Farbe	Dicke der Luftschicht in Å
Mitte: Schwarz		Indigo	5 700
Lavendelgrau	~ 500	Grünblau	6 300
fast Weiß	~ 1000	Grün	6 700
Strohgelb	1400	Gelbgrün	7 100
Braungelb	2100	Fleischfarben	7 500
Rotorange	2500	Mattpurpur	8 200
Tiefrot	2700		
		Hellgrün	9 000
Purpur	2800	Graugrün	9 800
Indigo	2900	Fleischrot	10 200
Himmelblau	3300		
Grün	3700	Mattblaugrün	11 700
Grüngelb	4300	Mattfleischrot	13 300
Orange	4700		
Dunkelviolett	5500		

sind die wichtigsten Farben der Ringe ausgehend von der Mitte aufgezählt. Diese Farben kommen dadurch zustande, daß an einer Stelle, wo die Luftschicht eine bestimmte Dicke hat, für eine bestimmte im weißen Licht enthaltene einfache Lichtart oder Wellenlänge gerade ein dunkler Ring liegt. Das übrige Licht vereinigt sich dann nicht zu Weiß, sondern zeigt eine Mischfarbe. Das für uns Wichtige an dieser Erscheinung ist, daß jeder Dicke der Luftschicht eine ganz bestimmte Farbe des reflektierten Lichtes zugehört und daß man an dieser Anordnung die zusammengehörigen Dicken und Farben ermitteln kann. In Zahlentafel 1 sind die Dicken für jede Farbe angeführt. Wenn man dann irgendwo in der Natur an durchsichtigen, dünnen Schichten von Materie, die von einem anderen durchsichtigen Mittel umgeben sind, solche „Farben dünner Plättchen" bemerkt, ist man in der Lage, aus der Farbe auf die Dicke zu schließen. Man sieht übrigens an dem Newtonschen Farbenglas, daß die Farben verschwinden, wenn die Schicht nur sehr geringe Dicke hat und daß sie auch bei zu dicken Schichten verblassen. In der Tat treten diese Interferenzfarben immer nur dann auf, wenn die Dicke der dünnen Schichten ungefähr so groß ist wie die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes.

2. Seifenhäute

Wir wollen nun versuchen, irgendwelche Materie so dünn als nur irgend möglich zu machen und darauf achten, ob nicht bei einer sehr geringen Dicke die Materie anfängt sprunghaft ihre Eigenschaften zu ändern. Dies wäre ja zu erwarten, wenn wir uns der Grenze der Teilbarkeit der Materie nähern.

Eines der bekannten Beispiele ist das Verhalten dünner Häute aus Seifenlösung, wie man sie leicht auf einem Drahtring erzeugen kann. Da die Lösung allmählich herunterläuft, wenn man den Ring senkrecht stellt, entsteht ein keilförmiges Häutchen, das oben immer dünner wird. Es treten deshalb sofort in waagerechten Streifen die Farben dünner Plättchen auf, Abb. 4 und 5. Im oberen Teil, wo die Haut sehr dünn wird, verblassen die Farben zu Weiß (Dicke ~ 1000 Ångström) und zu einem weißlichen Grau (~500 Ångström). In dieser dünnsten Schicht entstehen nun plötzlich meist kreisrunde, ganz schwarze Flecken, die sich zu einer scharfbegrenzten Bande vereinigen. Hier muß das Häutchen plötzlich sehr dünn geworden sein, weil es fast kein Licht mehr reflektiert. Die schwarzen Flecken sehen aus wie Löcher, es sind aber keine Löcher, denn noch hält die Schicht zusammen. Aber offenbar sind wir hier auf eine dieser Erscheinungen gestoßen, bei denen die Materie unstetig ihre Eigenschaften ändert, gewissermaßen plötzlich anfängt brüchig zu werden.

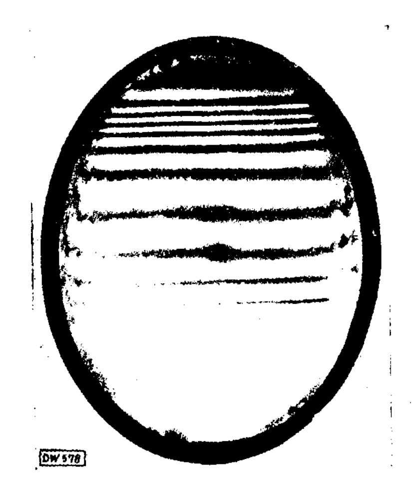


Abb. 4. Keilförmiges Häutchen aus Seifenlösung mit farbigen Streifen (Nach *A. S. G. Lawrence*)

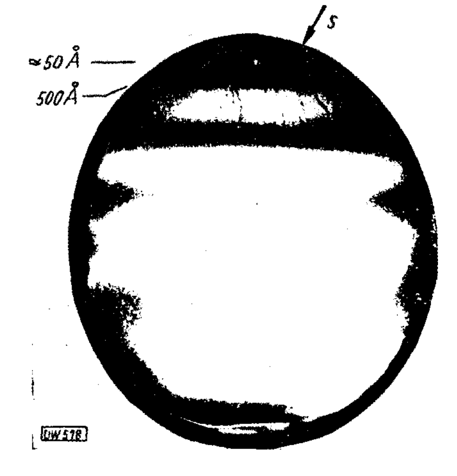


Abb. 5. Sehr dünnes keilförmiges Häutchen aus Seifenlösung mit schwarzem Fleck *S* (Nach *A. S. G. Lawrence*)

Die Physiker haben auf verschiedene Weise herauszubekommen versucht, wie dick die Seifenhaut im schwarzen Teil eigentlich ist. Am einfachsten zu verstehen ist folgender Weg, den man unter anderen eingeschlagen hat: Man setzt zwei feine Goldnadeln in bestimmtem Abstand mit ihren Spitzen auf das Seifenhäutchen auf, legt eine passende elektrische Spannung an die Nadeln und mißt den Strom, der durch den Teil des Häutchens zwischen den Nadeln fließt. Zunächst führt man diesen Versuch an einigen Stellen aus, an denen die Dicke aus der Farbe bekannt ist, dann im schwarzen Teil der Lamelle. Man findet, daß der Strom um so kleiner, der elektrische Widerstand um so größer wird, je dünner das Häutchen ist und kann nun auch aus dem sehr großen Widerstand im schwarzen Teil des Häutchens die Dicke des schwarzen Flecks ermitteln. Sicherer sind aber verschiedene optische Meßverfahren, auf die ich hier nicht näher eingehen kann. Man findet so, daß das Häutchen im schwarzen Fleck rund zehnmal so dünn ist wie in der unmittelbaren Nachbarschaft im weißlich grauen Teil, wo es 500 Ångström dick ist. Die Dicke der schwarzen Lamelle beträgt demnach rund 50 Ångströmeinheiten, und wir sehen, daß in der Tat eine sprunghafte Dickenänderung eingetreten und eine bereits sehr geringe Dicke erreicht worden ist, die schon etwa 100 mal so gering ist wie die Größe der kleinsten Bakterien, die wir im Mikroskop sehen können.


Stadt-
Bibliothek
Elbing

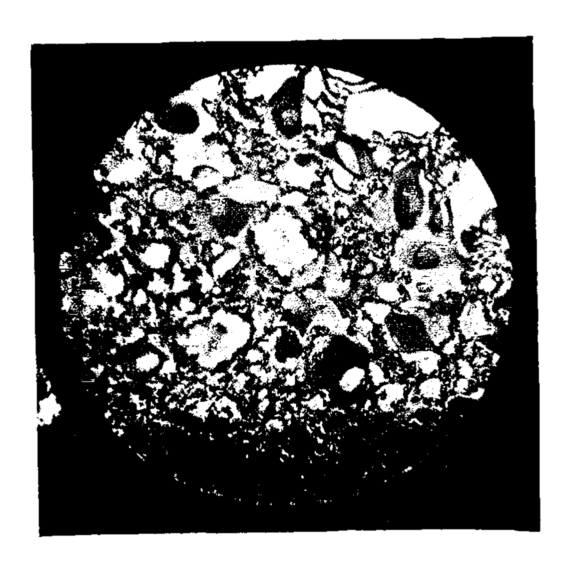


Abb. 6
Dünnes, schichtenförmiges Seifenhäutchen in reflektiertem Licht
(Mikroaufnahme des Verfassers auf Agfacolor-Platte)

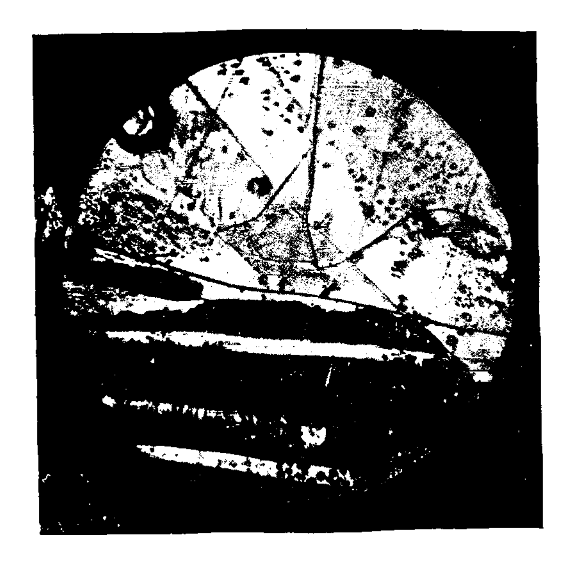


Abb. 7
Dünne, gespaltene Glimmerschichten, mit Selen auf Glas aufgekittet
(Mikroaufnahme des Verfassers auf Agfacolor-Platte)

Unter dem Mikroskop kann man an Häutchen aus sehr reiner Seifenlösung eine etwas andere Erscheinung beobachten, die erst kürzlich aufgefunden wurde. Das Häutchen scheint plötzlich zu „schauern“ und es entstehen ziemlich stürmisch überall meist kreisrunde Flecken. Diese Flecken sind manchmal grau oder schwarz, meist aber schön gleichmäßig farbig. Hieraus folgt, daß Stellen von verschiedener einheitlicher Dicke entstehen, z. T. sind diese Flecken demnach so dick wie die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes. Die ganze Erscheinung sieht reizend aus, wie ausgestreute Konfetti oder ein Mosaik aus farbigen Steinchen. Man kann sie meist längere Zeit betrachten, denn das Häutchen behält dann lange fast unverändert seinen Zustand bei und ist recht haltbar. Abb. 6 zeigt ein farbiges Bild solch eines Häutchens. Das Merkwürdige daran ist nun folgendes: Als man aus der Farbe die Dicke der verschiedenen einfarbigen Flecken bestimmte, fand man, daß nicht alle möglichen Farben und nicht alle möglichen Dicken auftreten. Der kleinste Dickenunterschied zwischen zwei Flecken betrug 50 Ångström und die Dicke eines jeden Fleckes betrug ein ganzes Vielfaches von 50 Ångströmeinheiten. Man muß dies so deuten, daß jeder Fleck durch Übereinanderlagerung einer ganzen Menge von schwarzen Flecken entsteht, weil die Dicke des schwarzen Fleckes ja gerade 50 Ångströmeinheiten beträgt. Der schwarze Fleck spielt hier die Rolle eines Elementarhäutchens. Dies ist nun eine für die molekulare Struktur der Materie höchst kennzeichnende Erscheinung. In der Tat, wenn wir uns den Molekulardimensionen nähern, kann offenbar die Dicke nicht mehr scheinbar stetig, sondern nur stufenweise zunehmen. Wir werden so zu der Vermutung geführt, daß der schwarze Fleck eine Dicke hat, die zum mindesten schon sehr nahe an die Molekulargrößen herankommt und wahrscheinlich etwas mit der Größe der Seifenmoleküle zu tun hat.

3. Dünne Glimmerschichten

Eine derartige stufenförmige Zunahme der Dicke beobachtet man auch noch in einem anderen Falle, den man experimentell leicht verwirklichen kann. Der Glimmer kristallisiert in schönen Platten, die sich durch spalten leicht in dünnere Platten trennen lassen. Klebt man eine Glimmerplatte mit einem geeigneten Kitt auf eine Glasplatte auf und reißt sie nach dem Erstarren des Kittes von der Unterlage ab, so bleiben dünne Schichten verschiedener Dicke auf der Unterlage zurück. Im reflektierten Lichte sieht die Oberfläche wieder schön farbig aus, Abb. 7, und die Schichten verschiedener Dicke sind scharf voneinander durch ihre Farbe abgegrenzt. Wir haben ein stufenförmig aufgebautes Plattengebirge vor uns mit Hochebenen und Schluchten. Auch hier sind die Höhenunterschiede nicht willkürlich, sondern die Ausmessung der Dicken aus den Farben hat ergeben, daß

der kleinste vorkommende Dickenunterschied nur sieben Ångströmeinheiten beträgt. Das ist eine äußerst kleine Dicke, zu der wir hier vorgedrungen sind, das dünnste Glimmerplättchen das möglich ist; man heißt es auch den „Gitterabstand" der Netzebenen der regelmäßig angeordneten Atome im Glimmerkristall. Solche Netzebenenabstände kann man, wie ich nur kurz erwähnen kann, auch mit Hilfe von Röntgenstrahleninterferenzen ermitteln, und es hat sich auf diese Weise der gleiche Wert ergeben wie wir ihn hier einfach aus den Farbenunterschieden der verschiedenen Glimmerschichten gefunden haben.

4. Ölschichten auf Wasser

Sehr weitgehende Aufschlüsse über die Größe der Moleküle hat man durch die Erforschung dünner Ölschichten auf einer Wasseroberfläche gewonnen. Wertvolle Beobachtungen an solchen Ölhäuten sind schon vor langer Zeit im gleichen Jahre von zwei sehr berühmten Physikern *W. C. Röntgen* und *Lord Rayleigh* veröffentlicht worden. In neuerer Zeit sind die Untersuchungen mit verbesserten Verfahren von verschiedenen Forschern wieder aufgenommen worden und haben schöne Ergebnisse gezeitigt. Wenn man tierische oder pflanzliche Fette in ganz geringer Menge auf eine reine Wasseroberfläche bringt, so breitet sich blitzartig ein äußerst dünnes, ähnlich dem schwarzen Fleck der Seifenblase unsichtbares Ölhäutchen auf der Wasseroberfläche aus. Röntgen und Rayleigh fanden unabhängig voneinander zwei Wege um die dünnste Ölhaut, die so entsteht, nachzuweisen und ihre Dicke zu bestimmen. Roentgen brachte einen Trichter, Abb. 8, etwa 1 cm über der Oberfläche des reinen Wassers in einer Schale an. In den Trichter tat er einen mit Äther getränkten Wattebausch. Die schweren Ätherdämpfe sinken nach unten, so daß gewissermaßen ein schwacher Strom von Ätherdampf aus der Trichteröffnung auf die Wasseroberfläche strömt. Bringt man nun eine Spur eines tierischen oder pflanzlichen Fettes auf die Wasseroberfläche, indem man z. B. mit dem Finger auf die Wasseroberfläche tupft, so breitet sich das Ölhäutchen aus. Es entsteht dann um die Trichteröffnung ein deutlich sichtbarer Ring, der immer mehr zusammenschrumpft je mehr Öl man aufbringt und schließlich verschwindet. Solange die Ölmenge noch sehr gering ist, wird die Schicht von den herunterströmenden Ätherdämpfen zurückgedrängt, so daß um die Trichteröffnung eine von Öl freie Kreisfläche sich bildet, Abb. 9. Je mehr Ölmoleküle dazu kommen, um so weniger läßt sich die Schicht zusammendrücken und wenn diese „Ätherprobe" gerade versagt, d. h. der Ring verschwindet, ist die Wasseroberfläche von einer Lage der Ölmoleküle dicht besetzt. Indem Röntgen eine gewogene sehr kleine Menge Öl auf das Wasser brachte, die gerade ausreichte, um die Ätherprobe zum Versagen zu

Abb. 9 (rechts). Aufnahme der Ätherprobe
T Trichteröffnung, S ihr Spiegelbild, R Grenze der Ölschicht

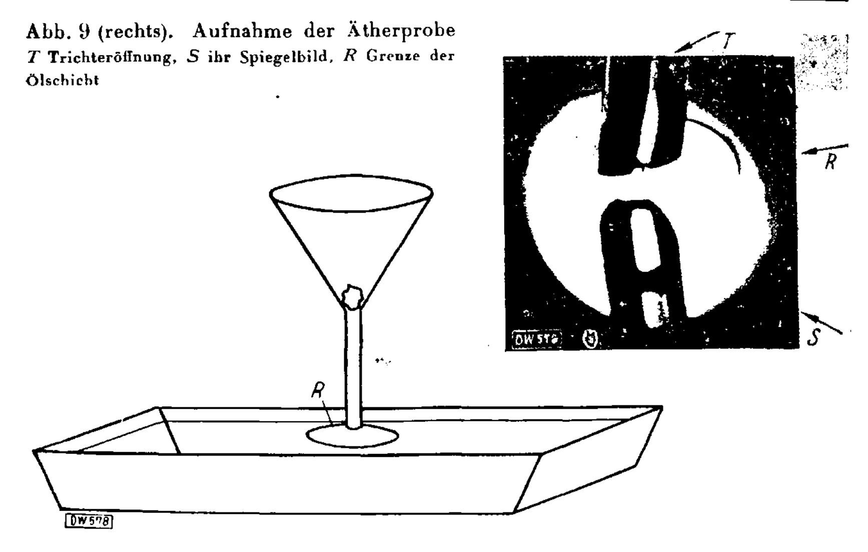


Abb. 8. Anordnung für Röntgens Ätherprobe
R Grenze der einmolekularen Ölschicht

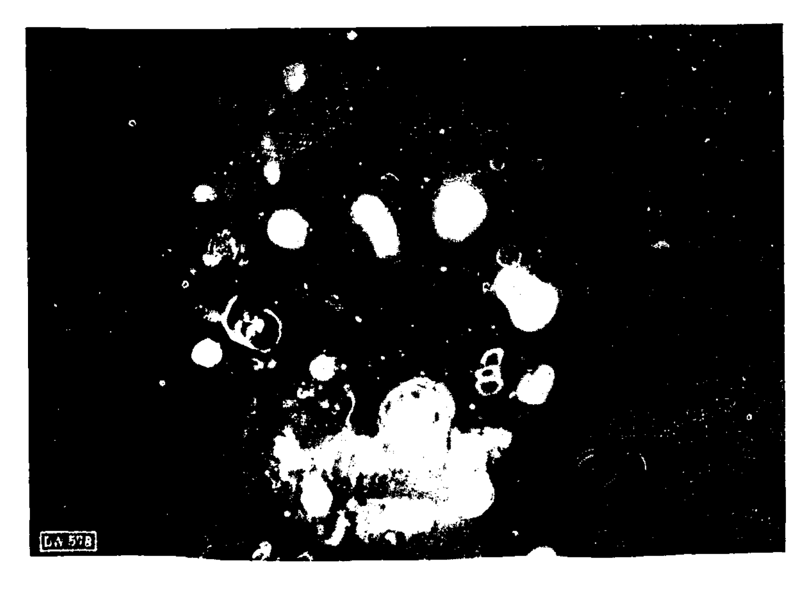


Abb. 10. Kampfertanz auf Wasser
Die Drehgeschwindigkeit ist sehr groß (Aufnahmezeit 4 s)

bringen, konnte er aus der bekannten Dichte des Fettes das Volumen und dann aus der bekannten Oberfläche des Wassers auch die Dicke der einmolekularen Fettschicht ausrechnen. Er fand eine Dicke von nur 16 Ångströmeinheiten. Rayleigh benutzte statt der Ätherprobe die Kampferprobe. Kleine Kampferstückchen führen auf einer reinen Wasseroberfläche lebhafte, kreisende Bewegungen aus, Abb. 10. Es ist dies ein Vorgang, der mit der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten zusammenhängt. Es genügt für uns zu wissen, daß der



Abb. 11
Kampferstückchen, ruhend auf einmolekularer Ölschicht

Kampfer diesen Tanz nur auf dem Wasser ausführt aber nicht auf einer Öloberfläche. Eine Spur eines tierischen oder pflanzlichen Öles auf die Wasseroberfläche gebracht, breitet sich sofort aus und fegt die Kampferstückchen zur Seite. Bringt man nun neue Kampferstückchen auf die Oberfläche, so zeigen diese keine Bewegung mehr, Abb. 11. Die Bewegung hört auf, wenn die Wasseroberfläche gerade mit einer Lage von Molekülen dicht besetzt ist, und man kann diese Probe benutzen, um in gleicher Weise wie es Röntgen gemacht hat, die Dicke der einmolekularen Fettschicht zu bestimmen. Alle neueren verbesserten Verfahren zur Messung der Dicke solcher Schichten sind ebenso einfach wie diese älteren. Es würde zu weit führen, sie im ein-

zelnen zu erklären. Es hat sich bei solchen Versuchen gezeigt, daß es überhaupt nicht möglich ist mit tierischen oder pflanzlichen Fetten Schichten zu erhalten, die dicker sind als die einmolekulare Schicht. Wenn wir mehr Fett aufbringen, so breitet es sich nicht mehr aus, sondern bleibt in Gestalt runder Flecken auf der einmolekularen Schicht liegen. Diesen Anblick, Abb. 12, kennen wir von unserer Suppe, man heißt ihn auf „Hausfrauendeutsch“ ein „Fettauge“.

Es ist eine sehr auffällige Tatsache, daß es anscheinend unmöglich ist mit solchen Fetten Schichten beliebiger Dicke zu erzeugen. Man bekommt immer nur eine unsichtbare, einmolekulare Schicht und

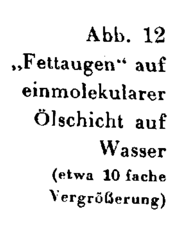
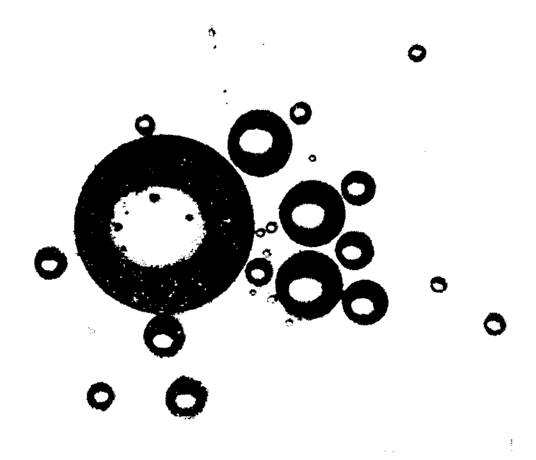


Abb. 12
„Fettaugen“ auf einmolekularer Ölschicht auf Wasser
(etwa 10 fache Vergrößerung)



darauf Fettaugen, die viel dicker sind als die Wellenlänge des Lichtes, so daß sie keine Farben dünner Plättchen mehr zeigen. Der Leser hat sicherlich niemals farbige Fettschichten auf seiner Suppe gesehen! Wenn das aber doch der Fall gewesen ist, so hat er ohne Zweifel den Genuß der Suppe verweigert, mit der Bemerkung, die Köchin hätte vermutlich Petroleum oder Maschinenöl hineingegossen. Ein seltsamer Gedanke! sind doch Petroleum oder Maschinenöl ebensowenig farbige Flüssigkeiten wie Olivenöl oder geschmolzene Butter. Er stammt aus der Beobachtung von farbigen Ölflecken, die man vor allem nach einem Regen auf den Pfützen in den Straßen jetzt immer zu sehen bekommt und die ihre Entstehung bekanntlich der Tatsache zu verdanken haben, daß heute jedermann, der etwas auf sich hält, einen Kraftwagen besitzen muß oder besser zwei. Es scheint also,

daß mineralische Öle, die man zur Schmierung von Maschinenteilen benutzt und die, wie z. B. das Paraffinöl aus dem Erdöl gewonnen werden, sich hinsichtlich der Ausbreitung auf Wasser anders verhalten als tierische oder pflanzliche Fette. Bringen wir eine Spur Paraffinöl auf eine reine Wasseroberfläche, so sehen wir sofort schöne, farbige, begrenzte Ölschichten entstehen, Abb. 13, also Schichten, die etwa so dick sind wie die Lichtwellenlängen. Werfen wir auch wieder Kampferstückchen auf die Oberfläche, so drängen die Kampferstückchen einfach die Ölschicht beiseite wie ein Eisbrecher in den nördlichen Meeren die Eisberge und Eisklippen zur Seite schiebt. Und

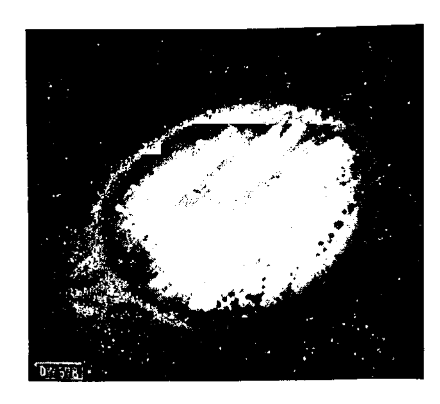


Abb. 13
Paraffinöl auf Wasser.
Farbige, marmorierte Schicht

wie der Eisbrecher in der freiwerdenden Wasserstraße seine Bahn zieht, so fahren auch die Kampferschiffchen lustig und durch das Öl unbehindert auf den Wasserstraßen zwischen den Ölschichten herum. Woher kommt nun dieses ganz verschiedene Verhalten der tierischen und pflanzlichen Fette einerseits, der mineralischen Öle anderseits?

5. Erklärung der Erscheinungen an Seifenhäuten und Ölschichten. Anwendungen

Um das zu verstehen, müssen wir uns ein wenig in das Reich der Chemie begeben. Tierische und pflanzliche Fette sind schon einigermaßen verwickelte chemische Verbindungen, nämlich sogenannte Glyzerinester der organischen Fettsäuren. Die Fettsäuren selbst sind dagegen ziemlich einfache Stoffe, und da die höheren Fettsäuren ebenfalls ölige, fettige Substanzen sind, die sich ganz genau so verhalten wie die tierischen und pflanzlichen Fette, wenn man kleine Spuren davon auf Wasser bringt, so hat man die genaueren Untersuchungen der einmolekularen Schichten neuerdings meist mit den organischen Fettsäuren statt mit den Fetten selbst ausgeführt. Wie die Moleküle der Fettsäuren nach Angabe der Chemie zusammengesetzt sind, zeigt Abb. 14.

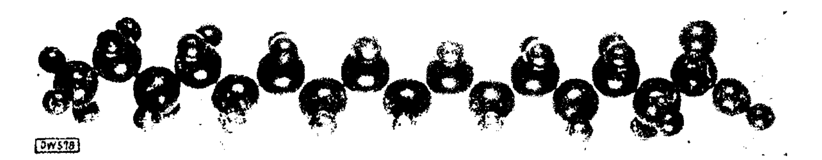


Abb. 14. Kugelmodell eines Moleküls der Palmitinsäure
Rund $3 \cdot 10^7$ fach vergrößert. (Nach *K. Bragg*)
Große Kugeln = Kohlenstoffatome Mittlere Kugeln = Sauerstoffatome
Kleine Kugeln = Wasserstoffatome

Die einfachen Fettsäuremoleküle bestehen aus einer mehr oder weniger langen Kette von Kohlenstoffatomen. Abb. 14 stellt ein Molekül der Palmitinsäure dar. An jedem Kohlenstoffatom dieses raupenartigen Körpers sitzen je zwei Wasserstoffatome als Beinchen, und an einem endständigen Atom sitzt noch ein drittes Wasserstoffatom als Schwänzchen. Der Kopf aber sieht bei den Fettsäuremolekülen anders aus. Er besteht aus zwei Sauerstoffatomen und an dem einen sitzt noch ein Wassertoffatom. Diese Kopfgruppe mitsamt dem zugehörigen Kohlenstoffatom wird als „Carboxylgruppe" bezeichnet. Die verschiedenen einfachen Fettsäuren tragen, nach zunehmender Kettenlänge der Moleküle geordnet, folgende Namen und Formeln:

1 Kohlenstoffatom Ameisensäure [2]

```
H—C⟨O
    OH
```

2 desgl. Essigsäure

```
   H
   |
H—C—C⟨O
   |   OH
   H
```

3 desgl. Propionsäure

```
   H  H
   |  |
H—C—C—C⟨O
   |  |   OH
   H  H
```

4 desgl. Buttersäure

```
   H  H  H
   |  |  |
H—C—C—C—C⟨O
   |  |  |   OH
   H  H  H
```

5 desgl. Valeriansäure

```
   H  H  H  H
   |  |  |  |
H—C—C—C—C—C⟨O
   |  |  |  |   OH
   H  H  H  H
```

usw. usw.

16 desgl. Palmitinsäure

```
   H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H
   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
H—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C—C⟨O
   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   OH
   H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H  H
```

usw.

17 desgl. Margarinsäure
18 desgl. Stearinsäure

[2] C bedeutet ein Kohlenstoff-, O ein Sauerstoff-, H ein Wasserstoffatom.

Der Name gibt gleichzeitig meist Auskunft darüber, wo diese Stoffe vorkommen. Es gibt viele Stoffe, welche mit diesen Fettsäuren verwandt sind und ähnlich gebaute Moleküle haben. Wir erwähnten schon die tierischen und pflanzlichen Fette selbst, aber auch höhere Alkohole und andere Stoffe gehören hierher. Sie unterscheiden sich von diesen Säuren wesentlich dadurch, daß das „Köpfchen" anders aussieht, der Leib dagegen ist der gleiche wie bei den Fettsäuremolekülen. Die Moleküle der Seifen unterscheiden sich von denen der Fettsäuren nur dadurch, daß an Stelle des Wasserstoffatoms in der Carboxylgruppe ein Natriumatom oder ein Kaliumatom tritt. Je nachdem bekommt man eine feste Seife oder eine Schmierseife. Die Seifenmoleküle sind also auch derartige Moleküle mit Köpfchen, Natrium- oder Kaliumsalze geeigneter Fettsäuren.

Ganz anders die meisten Stoffe, die in den mineralischen Ölen enthalten sind. Diese Stoffe, die sogenannten „Paraffine", haben Moleküle, die nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen bestehen. Die Moleküle sehen gerade so aus wie die der Fettsäuren, nur fehlt das Köpfchen. Das Molekül ist ganz Körper und hat vorne und hinten ein Schwänzchen. Diese Stoffe nun sind chemisch sehr träge, daher ihr Name („parum affinis" heißt „wenig verwandt"). Diese geringe Neigung, chemisch zu reagieren findet sich auch bei dem „Körper" der höheren Fettsäuren und ähnlicher Moleküle wieder, die ja ganz paraffinähnlich sind. Die Köpfchen aber besitzen in vielen Fällen noch eine einigermaßen große chemische Kraft. Man spricht dann in der Physik von „polaren Gruppen".

Die Ameisen- und Essigsäuremoleküle, welche fast keinen „Körper" besitzen, fast nur aus dem „Köpfchen" bestehen, mischen sich mit Wasser in beliebigem Verhältnis. Die höheren Fettsäuren und auch die Fette tun das nicht mehr, ebensowenig wie die Paraffine. Man kann daraus schließen, daß dem Köpfchen allein, nicht aber dem Körper die Fähigkeit zukommt sich im Wasser zu lösen. Bringt man nun eine höhere Fettsäure oder ein tierisches oder pflanzliches Fett auf reines Wasser, so tauchen die Moleküle die Köpfchen in das Wasser. Wenn gerade eine so große Menge aufgebracht ist, daß die Oberfläche mit Molekülen dicht besetzt ist, was z. B. mit der Kampfer- oder Ätherprobe erkannt wird, so ist die einmolekulare Schicht fertig. Die Köpfchen der Moleküle stecken im Wasser und die Körper und Schwänzchen ragen wie die Borsten einer Bürste in die Luft. Diese Moleküle machen es wie die Entchen in dem alten Kinderlied: „Alle meine Entchen schwimmen auf dem See, Köpfchen in das Wasser, Schwänzchen in die Höh". Die Dicke der einmolekularen Schicht, die man ja messen kann, ist gleich der Länge des Moleküls. Dies kann man durch den Versuch bestätigen. Wenn man nämlich Fettsäuren

mit verschieden langen Kohlenstoffketten zu dem Versuch verwendet, findet man, daß die Dicken der einmolekularen Schichten sich geradeso verhalten wie die Längen der Ketten oder wie die Zahl der Glieder des raupenartigen Körpers, der aus Kohlenstoffatomen besteht, im Molekül. Teilt man diese Dicke durch die Zahl der Glieder, so erhält man immer den gleichen Wert von ungefähr 1,5 Ångströmeinheiten und das muß offenbar der Abstand der Mitten der Kohlenstoffatome in diesem Molekül sein, genauer gesagt die Projektion des Abstandes auf die Längsachse des Moleküls. Man sieht auf wie einfache Weise man hier vordringen kann bis zu der Kenntnis der winzigen Abstände der einzelnen Atome innerhalb eines Moleküls, oder, was nahezu dasselbe besagt, bis zu den Atomdurchmessern.

Ein Wort noch über die Entstehung der „Fettaugen": Bringt man etwas mehr Fett auf das Wasser als zur Bildung einer einmolekularen Schicht nötig ist, so kann der Überschuß der Moleküle die Wasseroberfläche, gewissermaßen die Tränke, nicht mehr erreichen. Die Anziehungskraft, die von den Köpfchen ausgeht, macht sich dann darin geltend, daß die Köpfchen sich gegenseitig anziehen und die Moleküle einen dicken, auf der einmolekularen Schicht schwimmenden Klumpen bilden; und das heißt man ein „Fettauge". Auch der „schwarze Fleck" der Seifenhaut läßt sich nun leicht verstehen. Er besteht aus zwei Schichten langer Seifenmoleküle, weil die Seifenhaut zwei Oberflächen hat. Die Moleküle der beiden Schichten haben ihre Köpfchen gegeneinander gerichtet, und vielleicht sind sie noch durch eine dünne Wasserschicht getrennt. Die innere sowohl wie die äußere Oberfläche jeder Seifenblase haben wir uns so vorzustellen wie das Fell eines Igels, der seine Stacheln gespreizt hat. Diese „Köpfchentheorie" vermag, wie man sieht, recht viel zu erklären. Wie kommt nun das so ganz andersartige Verhalten der mineralischen Öle zustande? Nun, diese „kopflosen" Moleküle haben gar keine Neigung sich im Wasser zu lösen. Sie schwimmen wie gekenterte Schiffe irgendwie seitlich auf der Wasseroberfläche liegend herum. Es ist ihnen gleich, ob sie Wasser oder eigenes Öl als Unterlage haben, und so bedecken sie das Wasser nicht dicht mit einer einmolekularen Schicht, sondern bilden beliebig dicke, also auch farbige, inselartig begrenzte Schichten, die durch Kampferstückchen leicht zur Seite gedrängt und zerrissen werden können, so daß die freie Wasseroberfläche zum Vorschein kommt. Die Richtigkeit unserer Vorstellung über die besondere Rolle der Molekülköpfchen kann man noch durch einen sehr überzeugenden Versuch erhärten.

Die Stearinsäure ist ein bei Zimmertemperatur fester, glasiger, weißer, etwas speckiger Stoff. Er ist jedem wohl bekannt, denn unsere Stearinkerzen werden daraus gemacht. Wenn man eine Stearinkerze

in farbiges Wasser taucht, so sieht man, daß die Kerze nicht benetzt wird. Das Wasser läuft in Tropfen zusammen, wie auf einer speckigen Oberfläche. Es liegt dies daran, daß die Oberfläche der Kerze zum größten Teil aus den paraffinartigen „Leibern“ der Moleküle gebildet wird, die ja den bei weitem größeren Teil des ganzen Moleküls ausmachen. Wenn es gelänge, die Moleküle so zu richten, und zu ordnen, daß die Köpfchen alle an der Oberfläche lägen, dicht aneinander gedrängt, die Leiber aber nach innen gekehrt wären, müßte die Oberfläche das Wasser leicht annehmen, weil die Köpfchen sich im Wasser ja leicht lösen. Man kann dies in folgender Weise erreichen: Man schmilzt etwas Stearinsäure, deren Schmelztemperatur bei 69° liegt, und gießt die nun flüssige Säure in dicker Schicht auf heißes Wasser in einer Schale aus. Die Moleküle, die der Wasseroberfläche zunächst liegen, tauchen nun wieder ihre Köpfchen ins Wasser. Man läßt abkühlen oder noch besser das Wasser gefrieren, indem man das Ganze auf genügend tiefe Temperatur bringt. Dann reißt man die nun harte Stearinsäureschicht vom Eise ab. Die Seite, die der Wasseroberfläche zugekehrt war, ist nun benetzbar und man kann deshalb mit einem Pinsel und gefärbtem Wasser ebenso leicht auf dieser Oberfläche malen oder schreiben wie auf weißem Papier, Abb. 15. Es sind die Carboxylgruppen, die Köpfchen der Stearinmoleküle, welche bei diesem Versuch alle an der Oberfläche liegen und leicht das Wasser festhalten. Der Versuch gelingt noch besser wenn man Quecksilber statt Wasser verwendet.



Abb. 15. Benetzbare Stearinsäureschicht mit Aufschrift

Hieraus folgt, daß auch Metalloberflächen die Köpfchen oder „polaren Gruppen“ solcher Moleküle an sich ziehen und festhalten. Um die sehr große äußere Reibung fester Körper unschädlich zu machen, muß man Maschinenteile, die sich bei der Bewegung berühren, wie es z. B. bei allen Lagern von Maschinen der Fall ist, schmieren. Man benutzt dazu Maschinenöl. Die innere Reibung in Flüssigkeiten ist nämlich viel kleiner als die Reibung fester Körper aneinander. Die Moleküle des mineralischen Öls liegen natürlich in der sehr dünnen Schicht zwischen den Metallwänden wirr durchein-

ander. Verwendet man statt mineralischer Öle tierische oder pflanzliche Öle, so ist das anfangs auch der Fall, Abb. 16; nach einiger Zeit richten die Moleküle aber ihre Köpfchen (angedeutet durch die Pfeilspitzen) gegen die Metallwände und man bekommt gewissermaßen zwei sehr feine Bürsten, Abb. 17, oder, wenn die Schicht dicker ist, einen Aufbau wie ihn Abb. 18 andeutet. In den Spaltebenen der Abbildungen ist wegen der fast fehlenden Kräfte zwischen den „Schwänzchen" die Gleitfähigkeit sehr groß. Die Reibung ist deshalb, wenn die Ausrichtung der Moleküle vollendet ist, viel kleiner als anfangs und auch viel kleiner als bei Verwendung mineralischer Öle. Außer-

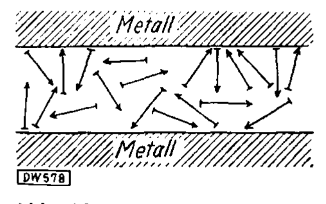


Abb. 16. Vor der Orientierung der Moleküle im Schmierfilm

Abb. 17. Nach der Orientierung der Moleküle im Schmierfilm

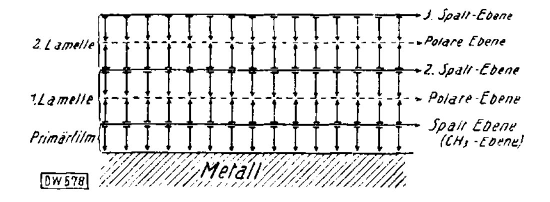


Abb. 18. Mehrere orientierte Molekülschichten in einem Schmierfilm
(Nach *H. Karplaus* aus der Zeitschrift „Die Umschau")

dem sind diese gerichteten Ölschichten sehr druckfest. Man hat auf diese Weise, meist durch Zusatz polarer Moleküle zu mineralischen Ölen, neuerdings außerordentlich gute Schmieröle herstellen können. Die Richtigkeit der hier gegebenen Auffassung ist durch Röntgenuntersuchungen der Schmierfilme sichergestellt. Rennfahrer verwenden für die Schmierung der Kraftwagenmotoren gelegentlich wohl auch reine pflanzliche Fette. Für die allgemeine Verwendung wäre das zu kostspielig. Die Kräfte, welche die polaren Gruppen am Metall festhalten, bezeichnet man auch als „Adsorptionskräfte". Sie sind bei vielen technischen Verfahren, z. B. bei der Färberei von Textilfasern, von maßgebender Bedeutung.



Wer die einfachen und farbenprächtigen Versuche, mit denen wir es zu tun hatten, noch einmal kurz überblickt, wird vielleicht meinen, daß die Experimentalphysiker eigentlich recht kindische Leute sind und daß er die Tätigkeit der Physiker bisher überschätzt habe. In der Tat unterscheiden sich diese Versuche eigentlich nur sehr wenig von den Spielen, die unsere Kinder treiben, wenn sie Seifenblasen machen oder den Draller laufen lassen. Ich möchte aber eher glauben, daß man bei solchen Erwägungen die Tätigkeit unserer Kleinen unterschätzt. Bei näherem Zusehen kann man sich der Erkenntnis nicht entziehen, daß alles Große und Schöne, was Menschen auf der Erde überhaupt haben schaffen können, zu einem nicht geringen Teil dem Spieltrieb der Menschen zu verdanken ist, der bei unseren Kleinen in der reinsten Form zutage tritt.

Die Spielereien der Physiker unterscheiden sich von diesen Kinderspielen dadurch, daß manchmal eine neue Erkenntnis, manchmal etwas so Ernstes und Nützliches dabei herauskommt wie ein gutes Schmieröl oder eine gute Funkröhre. Produktivität und schöpferische Phantasie sind vielleicht nur hochtrabende Worte für das, was wir einfacher als Spieltrieb bezeichnen könnten. Es ist schon so, wie ein deutscher Philosoph, *Friedrich Nietzsche,* gesagt hat: „Im echten Manne ist ein Kind versteckt, das will spielen".

Im folgenden wollen wir versuchen zu zeigen, was dieses kindlich ernste Spiel uns noch über die Massen dieser winzigen Bausteine der materiellen Körper zu lehren vermag.

II. Die wahren Massen der Atome und Moleküle

1. Die Molekulargeschwindigkeit

Die relativen Massen der Atome und Moleküle haben die Chemiker und in neuerer Zeit nach ganz anderen Verfahren auch die Physiker [3]) mit außerordentlich großer Genauigkeit ermitteln können.

Wir interessieren uns aber hier mehr für die Frage nach dem wahren Gewicht eines Atoms oder Moleküls. Welchen Bruchteil eines Gramms wiegt denn solch ein Atom? Diese Frage ist schon ein wenig schwerer zu beantworten; und wir müssen uns zunächst ein ganz grobes Modell, Abb. 19, eines Gases, wie wir es uns auf Grund zahlreicher physikalischer Erfahrungen vorstellen müssen, etwas näher ansehen. Die Moleküle des Gases, sagen wir des Stickstoffes und des Sauerstoffes der Luft, sind hier einfach durch Stahlkugeln dargestellt, die wir auf eine Glasplatte in einen auf der Platte beweglichen Holzrahmen hineinlegen können. Wenn wir den Rahmen mit einer drehenden Bewegung umherschieben, laufen die Kugeln hin und her, stoßen untereinander zusammen und stoßen auch an die Wand. Durch die

[3]) Vgl. Deutsches Museum, Abhandl. u. Berichte, 7. Jahrgang, Heft 3.

Stöße auf die Wand erzeugen die Moleküle den „Gasdruck". Die Geschwindigkeiten der Moleküle sind bei Zimmertemperatur viel größer als die Geschwindigkeiten der Kugeln beim Modellgas. Die Gasmoleküle haben deshalb eine Geschwindigkeit, weil das Gas warm ist. Die Abstände der Moleküle in der Zimmerluft sind im Mittel zehnmal so groß wie ihr Durchmesser. Eine Flüssigkeit muß man sich ähnlich vorstellen wie ein Gas, nur sind in dem gleichen Raum viel mehr, sagen wir 1000 mal so viel Moleküle vorhanden, so daß nur wenig Platz zwischen den Molekülen bleibt. Wenn man

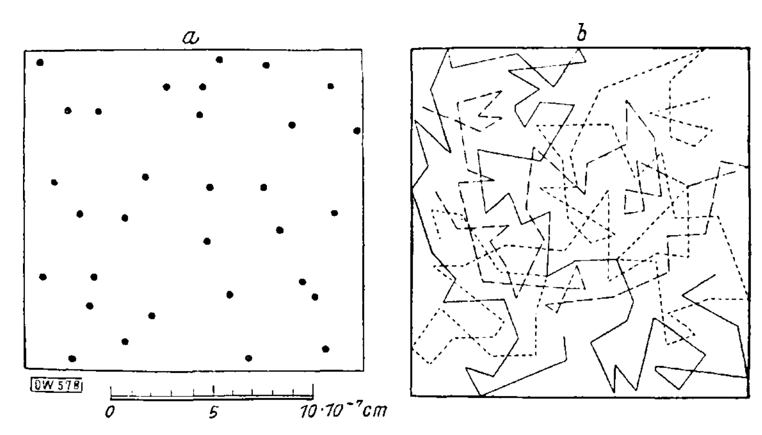


Abb. 19. *a* Modell von Luft bei Atmosphärendruck
b Bahn von 3 Molekülen in Luft von Atmosphärendruck
Maßstab 30 mal kleiner als bei *a*. (Nach *R. W. Pohl*)

manchmal ein Gas mit einem tanzenden Mückenschwarm vergleicht, so paßt auf die Flüssigkeit eher das Bild eines Haufens von Ameisen, die übereinander hin und untereinander her kriechen. Es ist nun leicht zu verstehen, weshalb ein Gas weder eine bestimmte Gestalt noch ein bestimmtes Volumen hat und weshalb eine Flüssigkeit zwar auch keine bestimmte Gestalt aber ein wohldefiniertes Volumen besitzt. Wenn wir ein Gefäß mit einem flachen, nicht zu dicken Glasdeckel verschließen und dann die Luft aus dem Gefäß auspumpen, wird der Glasdeckel durch den äußeren Luftdruck zerschmettert. Der Deckel hält das heftige Bombardement durch die Moleküle, das jetzt nur von einer Seite erfolgt, nicht aus. Die Dichte eines Gases, d. h. die gesamte Masse des Gases im cm^3, ist gleich dem Produkt aus der Masse eines Moleküls und der Zahl der Moleküle im cm^3. Der Gasdruck ist aber um so größer, je größer die Dichte des Gases und je größer die Geschwindigkeit seiner Moleküle ist. Es wird hieraus klar, daß man durch Messung von Druck und Dichte eines Gases die Geschwindigkeit

seiner Moleküle bestimmen kann. Es ergibt sich, daß die Moleküle der Luft bei Zimmertemperatur im Mittel eine Geschwindigkeit von etwa 500 m/s haben. Dieses Ergebnis kommt einem zunächst sehr unwahrscheinlich vor. In der Tat scheinen ihm einige Erfahrungen zu widersprechen. Wenn man ein leichteres Gas vorsichtig über ein schwereres schichtet, kann es ziemlich lange dauern, bis die beiden Gase vollständig vermischt sind und noch länger dauert es bei zwei verschieden schweren übereinandergeschichteten Flüssigkeiten. Wenn die Geschwindigkeiten der Moleküle so groß wären, sollte man erwarten, daß die Mischung in sehr kurzer Zeit erfolgen muß. Der Widerspruch ist aber nur scheinbar. Wenn man versucht einen Platz, auf dem ein großes Volksgedränge ist, zu überqueren und zu dem Zweck sehr schnell läuft, so wird man sein Ziel durchaus nicht schnell erreichen, sondern dauernd mit den Nachbarn zusammenstoßen, vom geraden Weg abgelenkt, zurückgedrängt werden. Gerade so geht es den Molekülen bei den Zusammenstößen mit den anderen Molekülen, so daß die Gasvermischung, trotz der großen Geschwindigkeit ziemlich langsam vor sich geht. Übrigens sind die Werte der Geschwindigkeit, die man aus Dichte und Druck des Gases ermitteln konnte, neuerdings auch durch eine direkte experimentelle Messung der Geschwindigkeit nachgeprüft worden und haben sich als richtig erwiesen.

Man denke sich einen Mann, der im Mittelpunkt eines Karussells steht und auf eine Zielscheibe schießt, die an der Wand des rasch umlaufenden Karussells befestigt ist. Wenn er auch ein tadelloses Gewehr hat und ein absolut sicherer Schütze ist, so werden doch, wenn das Karussell, von oben gesehen, rechts herum läuft, die Einschläge alle links vom Ziel liegen und wenn es mit der gleichen Geschwindigkeit links herum läuft, ebensoweit rechts vom Ziel. Es liegt dies daran, daß die Karussellwand sich bewegt während die Kugel auf dem Weg vom Gewehrlauf nach der Scheibe ist. Man kann aus der Links- oder Rechtsabweichung des Einschusses, dem Abstand Gewehr — Scheibe und der Drehgeschwindigkeit des Karussells sogar leicht die Geschwindigkeit der Kugel ausrechnen. Es ist nicht allzu schwierig einen feinen Strahl von Molekülen oder Atomen herzustellen, in dem die Teilchen mit einer der Temperatur entsprechenden Geschwindigkeit alle in einer Richtung fliegen. Mit solch einem Atom- oder Molekülstrahl kann man den Karussellversuch, den wir eben geschildert haben, im kleinen genau nachmachen. Die bewegten Atome übernehmen hier die Rolle der Gewehrkugeln. Verwendet man z. B. Atomstrahlen des Silbers, so schlägt sich das Silber auf der kalten, in schneller Drehung befindlichen Metallwand des Karussells dort, wo der Strahl auftritt, nieder, Abb. 20, und man kann die Schußabweichung vom Ziel nachträglich bequem ausmessen und daraus die Geschwindigkeit der Atome ausrechnen.

Für uns ist noch folgendes Ergebnis von Wichtigkeit: Je höher die Temperatur ist, um so größer ist die Geschwindigkeit der Moleküle. Bei der gleichen Temperatur verhalten sich die Quadrate der Geschwindigkeiten zweier verschiedener Moleküle umgekehrt wie die Molekulargewichte. Die Molekulargewichte von Sauerstoff und Wasserstoff z. B. verhalten sich wie 16 zu 1, die Molekulargeschwindigkeiten wie 1 zu 4. Das heißt aber, daß das Produkt aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit für alle Moleküle den gleichen Wert hat, wenn nur die Temperatur die gleiche ist. Es sei nur nebenbei bemerkt, daß sich diese Angaben auf die mittleren Geschwindigkeiten beziehen, weil in Wirklichkeit bei einer bestimmten Temperatur die Geschwindigkeit auch in einem einheitlichen Gase nicht für alle Moleküle die gleiche ist. Das ist aber nicht so schlimm. Wenn wir z. B. sagen, daß die Geschwindigkeit eines Menschen beim Laufen 200 m in der Minute ist, so wird sich niemand darüber wundern, daß wir hiermit nicht die Laufgeschwindigkeit eines *Nurmi* und auch nicht die einer alten Spitalfrau meinen.

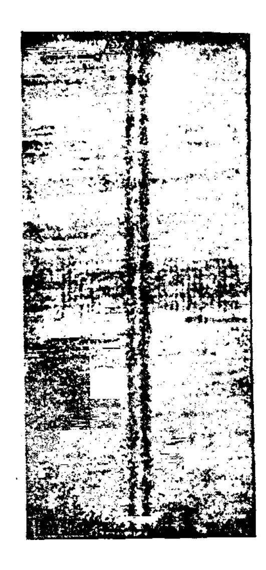


Abb. 20. Silberniederschlag von Atomstrahlen bei rechts- bzw. linksumlaufender Wand (Nach *Stern*)

2. Die Brownsche Bewegung

Betrachten wir nun noch einmal kurz unser Modellgas oder unsere Modellflüssigkeit. Wir legen in den Haufen der Stahlkugeln eine viel größere und schwerere hinein. Diese Kugel erhält ebenfalls unregelmäßige Stöße durch die kleineren Kugeln und führt deshalb unregelmäßige Bewegungen aus. Geradeso müssen sich kleine Fremdkörper verhalten, die in einem Gase oder einer Flüssigkeit enthalten sind; Rauchteilchen in der Luft, kleine Kohleteilchen oder Harzkügelchen in einer Flüssigkeit. Man muß erwarten, unregelmäßige Bewegungen solcher Teilchen, die eben noch genügende Größe haben um mikroskopisch wahrnehmbar zu sein aber im Vergleich zu einem Molekül schon sehr groß und schwer sind, wahrzunehmen, die sie wegen der unregelmäßigen Stöße von seiten der Moleküle ausführen. In der Tat ist diese Erscheinung schon lange bekannt. Der Botaniker *Brown* hat sie zuerst im Jahre 1827 beobachtet, aber es hat lange gedauert, bis man die wahre Ursache dieser Bewegung erkannt hat. Es ist nicht schwer, diese sehr eindrucksvolle Erscheinung einem größeren Zuschauerkreis zugleich vorzuführen. Der Weg, den solch ein kleines Teilchen im Laufe der Zeit zurücklegt, ist sehr verschlungen.

Wenn man etwa von 30 zu 30 s den Ort eines Teilchens in einen Lageplan einträgt, bekommt man ein Bild, wie es Abb. 21 zeigt.

Wenn die Teilchen kugelförmig sind, kann man ihren Halbmesser und damit ihr Volumen mikroskopisch ausmessen. Wenn man die Dichte des Stoffes kennt, aus dem die Teilchen bestehen, ergibt sich hieraus auch das Gewicht des Teilchens in Gramm. Ferner kann man sich vielleicht vorstellen, daß man durch messende Verfolgung der

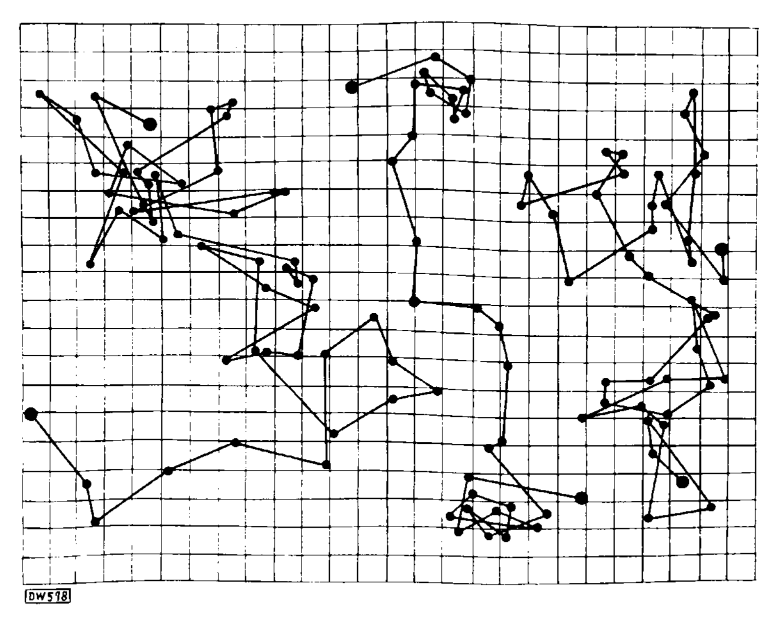


Abb. 21. Brownsche Bewegung von Mastixkügelchen (Halbmesser $= 5{,}3 \cdot 10^{-5}$ cm) in Wasser. Ort eines Teilchens nach je 30 s. Eine Quadratseite $\frac{3}{1000}$ mm

(Nach *Perrin*)

Bewegung des Teilchens auch seine Geschwindigkeit bestimmen kann, wenn das wegen der sehr verschlungenen Bahn, die es beschreibt, auch nicht ganz einfach zu machen ist. Kennt man Masse und Geschwindigkeit solch eines Teilchens, so ergibt sich hieraus durch einfache Rechnung auch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeitsquadrat. Weil sich aber solch ein grobes Teilchen in Wirklichkeit in der Flüssigkeit genau so benimmt wie ein Molekül der Flüssigkeit selbst, nur ein Molekül mit sehr großer Masse und daher verhältnismäßig kleiner Geschwindigkeit, ist man berechtigt zu schließen,

daß das Produkt aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit, das wir soeben ermittelt haben, genau ebenso groß ist wie für jedes wirkliche Molekül bei der gleichen Temperatur. Wir kennen also jetzt dieses Produkt und kennen außerdem die Geschwindigkeit der Gasmoleküle selbst; infolgedessen können wir die wahre Masse oder das Gewicht der Moleküle ausrechnen. Wir können nur kurz erwähnen, daß es in Wirklichkeit nicht möglich ist die mittlere Geschwindigkeit solch eines Teilchens in einer Flüssigkeit unmittelbar zu ermitteln. Dazu ist die Bahn zu verwickelt. Es genügt aber, die Lageverschiebung eines Teilchens nach immer gleichen Zeiten sehr oft unter dem Mikroskop zu messen, wie das in Abb. 21 angedeutet ist, und daraus rechnerisch einen Mittelwert der Verschiebung zu berechnen. Wenn die Temperatur, der Radius des kugelförmigen Teilchens und der sogenannte Koeffizient der inneren Reibung der Flüssigkeit bekannt ist, läßt sich dann aus dem Mittelwert der Verschiebung die Bewegungsenergie oder das Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit des Teilchens ermitteln.



Abb. 22. Sehr kleine fallende Öltröpfchen in Luft. Zeitaufnahme bei Dunkelfeldbeleuchtung (Nach *Regener*)

Abb. 22 zeigt eine ultramikroskopische Aufnahme von sehr kleinen Öltröpfchen (Radius einige 10^{-5} cm), die in völlig ruhiger Luft langsam fallen. Man erkennt hier die Wirkung der Molekularstöße der Luft oder die Brownsche Bewegung daran, daß die Tröpfchen nicht einfach geradlinig heruntersinken, sondern beim Fallen lebhafte Zickzackbewegungen machen.

Wir wollen nun gleich das Ergebnis betrachten, zu dem man für die Masse des Wasserstoffatoms gekommen ist. Man fand, daß diese Masse 1,66 Quadrillionstel Gramm beträgt. Diese Masse ist freilich unvorstellbar klein, und man würde vielleicht dem Ergebnis nicht trauen, wenn wir nicht mehr als ein Dutzend ganz verschiedener Verfahren besäßen, um die Masse der Atome zu ermitteln. Alle diese Wege führen zu dem gleichen Wert, und wir können sagen, daß das wahre Gewicht der Atome und Moleküle uns heute genauer bekannt ist als auf 1 %. Ein Kaufmann bei dem wir 1 kg Zucker kaufen, wird

sich selten die Mühe machen, die Wägung auf 10 g genau auszuführen. Die Physiker haben diese winzigen Gebilde, die Atome noch etwas genauer gewogen. Wir können nun auch sofort angeben, wieviele Atome Wasserstoff in 1 g Wasserstoff enthalten sind. Ich will aber lieber gleich sagen, wieviele Moleküle sagen wir in 1 cm^3 Luft bei Atmosphärendruck enthalten sind, also in einem Raum der noch nicht so groß ist, wie der Inhalt eines Fingerhutes. Es sind 27 Trillionen. Diese Zahl ist ungefähr so groß wie die Zahl der Sekunden in einer Billion Jahren! Wenn man sich alle diese Moleküle perlschnurartig aneinandergelegt denkt, so bekommt man trotz der sehr kleinen Länge der einzelnen Glieder dieser Kette im ganzen eine Länge heraus, die so groß ist, daß die Kette etwa 200 mal um den Äquator der Erde herumreichen würde. Dies gibt wenigstens einen ungefähren Begriff von der Größe dieser Zahl.

Übrigens kann man an die Brownsche Bewegung derartig kleiner Teilchen eine eigenartige Bemerkung knüpfen. Natürlich geschieht es bei dieser Bewegung wiederholt, daß sich ein solches Teilchen gegen die Erdschwere nach oben bewegt. Wäre es da nicht möglich, daß irgendein Gegenstand, ein Tisch oder ein Stuhl plötzlich von selbst in die Höhe spränge wenn einmal zufällig die Zahl der molekularen Stöße, die er ja dauernd von allen Seiten durch die Luftmoleküle erhält, von unten genügend stark überwiegt? Wenn wir nicht größer wären als die kleinsten Bakterien, wäre uns etwas derartiges ohne Zweifel ein selbstverständliches Ereignis. Unsere Tische und Stühle würden dann dauernd hin und herspringen, und wir selbst würden auch der Willkür der Molekularbewegung preisgegeben ein höchst nervöses Dasein führen. Ja wir wären niemals sicher, ob nicht z. B. ein Stück Brot, das wir eben in den Mund gesteckt hätten um es zu verspeisen, durch die Wirkung der Molekularstöße wieder hinausbefördert würde. Vielleicht ist die untere Größengrenze für die Möglichkeit selbständiger Lebewesen durch diese Wirkung der Molekularbewegung gegeben, welche bedingt, daß eine für ein Lebewesen wenigstens halbwegs hinreichende Abgrenzung von der Umwelt praktisch unmöglich wird. Was sind dagegen die Plagen, die uns u n s e r e Umwelt, das Motorradgeknatter auf der Straße, der Rundfunk des Nachbarn verursacht! Daß unsere Stühle und Tische ruhig stehen wie es sich gehört und wir selbst von den Molekularstößen nichts weiter verspüren als das Gefühl einer wohligen Wärme, haben wir lediglich unserer Größe zu verdanken. Denn je größer ein Teilchen ist, um so weniger kommen die Schwankungen, welche durch die Stöße der Moleküle verursacht werden, in Betracht. Es hat dies den gleichen Grund wie die jedem geläufige Tatsache, daß beim Würfelspiel mit einem ordnungsgemäßen Würfel jede Zahl der Augen von 1 bis 6 gleich häufig fällt, wenn man nur genügend Würfe macht. Man darf sich

aber nicht darüber wundern, wenn bei z. B. nur zehn oder gar sechs Würfen dies durchaus noch nicht der Fall ist.

3. Die Lichtstreuung

Wir wollen zum Schluß wenigstens noch kurz einen Weg andeuten, auf dem man ebenfalls Aufschluß über die Massen der Moleküle und Atome erhalten kann. Wir lassen ein starkes Lichtbündel von einer Bogenlampe durch einen Trog mit Wasser gehen und bringen in das Wasser eine Menge sehr kleiner Teilchen hinein, so daß das Wasser getrübt wird. Man sieht von der Seite das Lichtbündel in bläulicher Farbe aufleuchten. Das Licht, das durch den Trog hindurchgegangen ist, trifft auf einen weißen Schirm, und man bemerkt, daß es gelblich rot ist. Es ist dies dieselbe Erscheinung für die Goethe sich so lebhaft interessierte und die er als „Urphänomen" zur Grundlage für die Erklärung aller Farbenerscheinungen machen wollte. Die physikalische

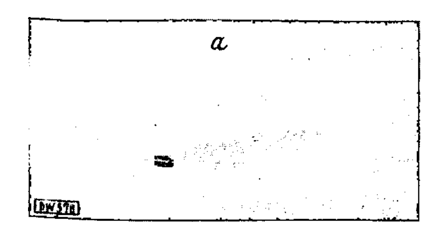




Abb. 23. Tyndallkegel in Wasser mit kleinen trübenden Teilchen
a gelbes Licht — *b* blaues Licht

Theorie dieses Vorgangs stammt von Lord Rayleigh. Er konnte zeigen, daß kleine Teilchen, die kleiner sind als die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes, vorzugsweise blaues Licht zerstreuen. Daher erscheint das Lichtbündel vor allem bei seinem Eintritt von der Seite gesehen blau und verarmt beim Durchgang durch das trübe Medium an blauem Licht. Das durchgehende Licht sieht deshalb gelbrot aus. Abb. 23 b zeigt ein Bündel blauen, Abb. 23 a ein Bündel gelben Lichtes beim Durchgang durch solch eine durch kleine Teilchen getrübte Flüssigkeit von der Seite gesehen. Man erkennt, daß das blaue Licht auf seinem Wege durch die Flüssigkeit viel stärker durch Streuung nach den Seiten geschwächt wird als das gelbe. Gelbes Licht vermag daher auch Nebel besser zu durchdringen als blaues. Photographiert man eine Landschaft mit langwelligem, ultrarotem Licht, so erscheint die Ferne selbst bei unsichtigem Wetter deutlich auf der Aufnahme. Eine Photographie mit kurzwelligem ultraviolettem Licht läßt dagegen nichts von der Ferne erkennen. Die Verwendung gelber Laternen bei unseren Straßenbahnen bezweckt bei Nebel das Streulicht herabzusetzen, wodurch die Sicht für den Fahrer verbessert wird. Lord

Rayleigh hat weiter gezeigt, daß, wenn eine bestimmte Stoffmenge in einem bestimmten Volumen als feinverteilte Trübung enthalten ist, das seitlich zerstreute Licht um so schwächer ist, je feiner der Stoff zerteilt ist. Eine sehr feine Verteilung haben wir aber nun in jedem Gase und jeder Flüssigkeit infolge der molekularen Struktur der Materie vor uns. Wir können erwarten, daß auch reine Flüssigkeiten einen derartigen blauen „Tyndallkegel“ [4]) geben, wenn auch das seitlich zerstreute Licht nur sehr schwach sein wird. Läßt man ein



Abb. 24. Tyndallkegel in reinem Benzol
o Flüssigkeitsoberfläche *k* Tyndallkegel

starkes Lichtbündel durch ein Gefäß mit möglichst reinem Benzol gehen, so kann man den ziemlich schwachen Tyndallkegel in der Tat gut sehen, Abb. 24. Hier handelt es sich also um eine Zerstreuung des Lichtes, die durch den molekularen Aufbau der Materie bedingt ist. Am großartigsten macht uns die Natur selbst diesen Versuch vor. Die Erde ist umgeben von einer Lufthülle, die aus Molekülen besteht und deshalb als trübes Medium anzusehen ist. Wir sehen diese Lufthülle vor dem vollkommen schwarzen Hintergrund des Weltraumes, seitlich durchstrahlt von der hellsten Lichtquelle, die wir kennen, von unserer

---

[4]) Die Benennung ist zu Ehren des englischen Physikers *Tyndall* gewählt, der sich besonders mit dieser Erscheinung beschäftigt hat.

Sonne; und das von den Molekülen der Luft zerstreute blaue Licht ist das, was wir das blaue Himmelslicht nennen. Auf hohen Bergen, wo die Luft besonders frei ist von Staub, tritt diese tief dunkle Bläue des Himmelslichtes besonders klar hervor. Daß dies die richtige Erklärung der Farbe des Himmelslichtes ist, hat sich beweisen lassen. Man konnte aus Messungen der Farbe und Intensität des Himmelslichtes die Feinheit der Verteilung der Materie in der Atmosphäre ermitteln, d. h. wieder die Zahl der Moleküle im cm^3 oder auch die Masse der Moleküle finden. Es haben sich die gleichen Zahlen ergeben, die man aus der Brownschen Bewegung gewonnen hat.

Wir sind zu einem merkwürdigen Ergebnis gelangt: Zwei so gänzlich verschiedene Erscheinungen, wie die blaue Farbe des Himmels und die unregelmäßigen Bewegungen kleiner Fremdkörper in einer Flüssigkeit sind nicht unabhängig voneinander. Sie sind gesetzmäßig miteinander verknüpft; denn beide sind letzten Endes bedingt durch die Struktur der Materie, durch die Feinheit der Stoffverteilung, durch die Zahl der Moleküle im cm^3.

Schluß

Wenn wir hiermit unsere kurze Reise beschließen, so bin ich überzeugt, daß der Physiker nicht sehr befriedigt von uns scheiden wird. Er weiß, daß wir die genauesten und schönsten Verfahren zur Ermittelung der Größe und Masse der Moleküle und Atome, die einleitend erwähnten Sterne im Baedeker, ganz übergangen haben. Ihr volles Verständnis erfordert weitgehende Kenntnisse der Zusammenhänge der verschiedensten Erscheinungen auf dem großen Gebiet der Physik, und es gibt mancherlei trefflich gelungene und einfach gehaltene Versuche, diese Zusammenhänge und die sich aus ihnen ergebenden Folgerungen darzustellen im physikalischen Schrifttum. Uns lag etwas anderes am Herzen: Wir wollten zeigen, wie man schon mit sehr bescheidenen Hilfsmitteln, auf möglichst unmittelbare Weise und durch höchst einfache Überlegungen zu der Überzeugung des atomistischen und molekularen Aufbaues der Materie gelangen und die Größe und Masse der materiellen Bausteine ermitteln kann. Unser Wunsch war ferner, klar zu machen, daß die grundlegenden Gedankengänge der Physik weder wirklichkeitsfremd noch schwierig, sondern oft recht einfach und naheliegend sind, auch auf einem anscheinend so schwer zugänglichen Gebiet wie dem des Atomismus der Materie.

Die Abbildungen in der vorliegenden Schrift sind z. T. zusammenfassenden Werken oder Abhandlungen aus Zeitschriften entnommen:

Abb. 3 *R. W. Wood:* Physical Optics. New York 1934. The Macmillan Comp.

Abb. 4, 5, 14 *A. S. G. Lawrence:* Soap Films. London 1929. G. Bell and sons Ltd.

Abb. 16, 17, 18 *H. Karplus:* Die Umschau Bd. 36 (1932) S. 1009.

Abb. 19 *R. W. Pohl:* Einführung in die Elektrizitätslehre. Berlin 1935. Julius Springer.

Abb. 20 *O. Stern:* Zeitschr. f. Phys. Bd. 3 (1920) S. 420.

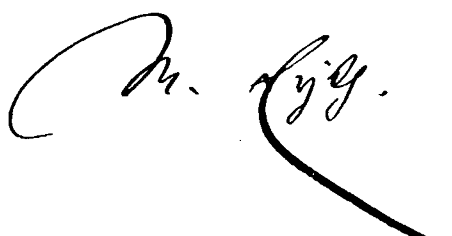
Abb. 21 *Müller-Pouillet:* III. Wärmelehre, zweite Hälfte. Braunschweig 1925. Friedr. Vieweg & Sohn A.-G.

Abb. 22 *E. Regener:* Zeitschr. Techn. Phys. Bd. 7 (1926) S. 154.

Alle anderen Abb. sind vom Verfasser für dieses Heft hergestellt.


Stadt-
Bibliothek
Elbing





geb. 6. Mai 1836 in Kirchheim unter Teck
gest. 25. August 1906 in Ulm

Max Eyth

Von *Conrad Matschoß VDI*, Berlin

Vor einem Jahrhundert wurde in Kirchheim unter Teck dem 27 jährigen Lehrer der alten Sprachen und der Geschichte der erste Sohn geboren, *Max Eyth*. Der Vater war erzogen im Tübinger Stift, aus dem viele hervorragende Männer hervorgegangen sind; er hatte Uhland gehört, war mit Justinus Kerner befreundet und ist schriftstellerisch auf dem ihm nahe liegenden Gebiet tätig gewesen. Bis zum Ururgroßvater, der in Tübingen Küfermeister und Stadtrat war, konnte Max Eyth seine Vorfahren zurückverfolgen. Sein Großvater, in Tübingen geboren und aufgewachsen, war 60 Jahre lang Professor zu Heilbronn am Neckar. Die Familie soll, wie man sich noch erzählt, aus dem Salzburgischen, als die Protestanten vertrieben wurden, in Württemberg eingewandert sein. Eyths Mutter war eine geistig ungemein rege Frau, deren religiöse Dichtungen sogar in fremde Sprachen übersetzt wurden. Nur die ersten vier Jahre hat Eyth in Kirchheim zugebracht. Sein Geburtshaus schmückt heute eine Tafel, die der Verein deutscher Ingenieure in dankbarer Erinnerung an sein großes Mitglied 1923 dort angebracht hat. Sein Vater wurde in das einsam gelegene Schöntal an der Jagst versetzt. Hier wurden im Seminar die künftigen Geistlichen Württembergs erzogen. Der Unterricht war durchaus humanistisch. Griechisch, Latein, dazu Altes und Neues Testament, Kirchengeschichte waren die Hauptfächer. Hier hat auch Max Eyth seine erste Ausbildung genossen.

Die Eltern sahen in ihm den künftigen Theologen und Philologen. Aber schon der neunjährige Junge, der auf einer Wanderung mit seinem Vater einen Eisenhammer kennen lernte, fühlte, daß er mehr für die schaffende Tätigkeit des Lebens bestimmt sei. Das Seminar hatte auch einen Lehrer der Mathematik, und der erschloß ihm in der Mathematik eine neue Welt. Der Vater fügte sich dem Wunsche des Sohnes und gab ihm, wie Eyth später einmal sagte, das Beste was ein Mensch dem andern geben kann, Freiheit der Entwicklung. So besuchte Eyth mit 15 Jahren in Stuttgart das Polytechnikum, aus dem die spätere Technische Hochschule hervorgegangen ist. Vier Jahre lang nimmt er hier in sich auf, was eine technische Schule der damaligen Zeit an theoretischem Wissen zu vermitteln hatte. Ein fröhliches Studentenleben in der Stauffia hat Eyth in dankbarer Er-

innerung behalten. Die Verbindung der technischen Schulen mit der schaffenden Praxis war wenig oder gar nicht vorhanden. Man hatte sich noch nicht zu gemeinsamer Arbeit gefunden. Die Männer, die unsere Industrie aufbauten, waren oft aus dem Handwerk hervorgegangen und wollten von dem gelehrten Kram noch wenig wissen. Mit Hammer und Meißel, mit der Feile sollte man sich die Grundlage für den technischen Beruf in harter Arbeit selber schaffen.

So kommt auch Eyth von der Schulbank in die Werkstatt. Zuerst in eine Maschinenfabrik in Heilbronn. Seine erste Aufgabe ist, jeden Zahn eines großen Rades mit dem Meißel so zu bearbeiten, daß die gewünschte Zahnform entsteht. Aber man will hier von Praktikanten nicht viel wissen. Er verläßt die erste Lehrstätte und kommt zu der im Schwabenlande sehr angesehenen Maschinenfabrik von G. Kuhn in Stuttgart. Hier galt es zuerst wieder, durch mühsamste Handarbeit Lagerdeckel aufzupassen. Von genau arbeitenden Werkzeugmaschinen weiß man in Deutschland noch wenig. Max Eyth kommt nun auf das Konstruktionsbüro. Er freut sich, bald zu größeren Aufgaben zugelassen zu werden. Da kamen aus Frankreich aufsehenerregende Nachrichten über eine neu erfundene Gasmaschine, die nun endlich der alten Dampfmaschine auf allen Gebieten den Garaus machen würde. Kuhn will sie auch bauen. Max Eyth soll sich an dieser neuen Aufgabe versuchen, darf sogar nach Paris fahren, um zu sehen, ob er dort etwas davon erfahren kann, wie *Lenoir* seinen Maschinenbau betreibe. Aber das Ganze endet doch mit einem Fehlschlag.

Eyth beginnt sich als Ingenieur zu fühlen und mit großer Freude ergreift er den Wanderstab, um sich eine Stellung zu suchen. Er fährt den Rhein hinunter nach Köln, er besucht Werkstätten im heutigen Industriegebiet, aber nirgends ist ein Platz für ihn frei, höchstens vertröstet man ihn: man würde später einmal an ihn denken. Aber darauf will Max Eyth nicht warten, er will sich im Ausland umsehen. In Belgien geht es ihm nicht viel besser, er wäre gern in der weltberühmten Fabrik von *Cockerill* untergekommen, aber die Zeiten sind schlecht, man hat keine Verwendung für den jungen deutschen Ingenieur. So entschließt er sich nach England zu gehen, in das damalige gelobte Land der Technik, von dem aus sich so viele Meisterwerke der Ingenieurkunst die Welt erobert hatten. Das war ein kühnes Unternehmen, ohne Beziehungen, ohne Geld und ohne ausreichende Sprachkenntnisse. Es gehörte schon mehr dazu als heute eine Reise nach Amerika zu unternehmen. Auch drüben schien es ihm zunächst nicht zu glücken, bis ihn — man möchte sagen der Zufall — zu einem hervorragenden englischen Ingenieur *John Fowler* führte, der, etwa 10 Jahre älter als Max Eyth, in Leeds eine große

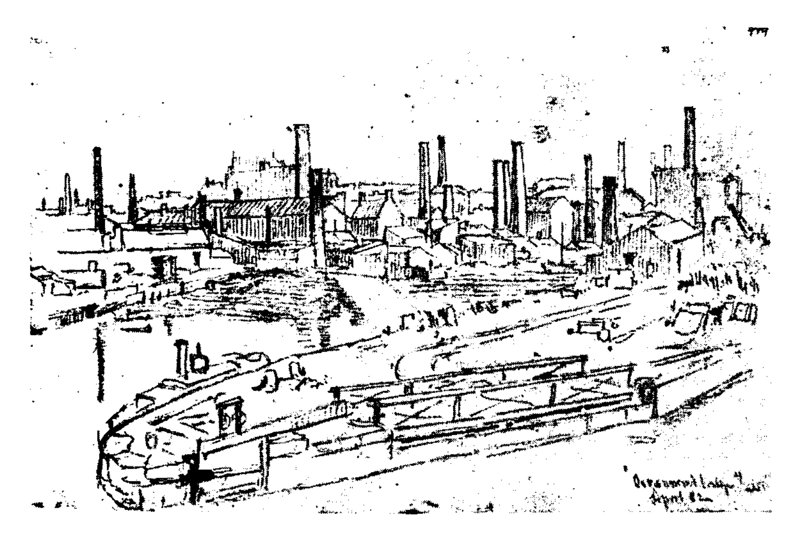


Abb. 1. Leeds, Crownpointbridge

Maschinenfabrik errichtet hatte, die sich vor allem die Aufgabe stellte, den Dampf auch bei der Bodenbestellung in der Landwirtschaft einzuführen. Fowler wollte es mit diesem jungen Deutschen, aus dessen glänzenden Augen die Liebe zur Technik für jeden, der fühlen konnte, heraus sah, versuchen.

Man hatte schon frühzeitig Straßenzugmaschinen gebaut und daran gedacht, sie auch vor einen Pflug zu spannen. Aber das führte damals noch zu keinem Erfolg. Da Drahtseil brachte die Lösung. Von den an den Seiten des Feldes stehenden schweren Zugmaschinen auf Trommeln aufgerollt, zog es den Pflug sicher über das Feld. In Leeds konnte Eyth zeigen, was er in Deutschland gelernt hatte. Hier hatte er die Möglichkeit, noch viel hinzuzulernen. Seine praktische Arbeit brachte ihm große Vorteile. Man hatte Achtung vor dem jungen Menschen, der mit Hammer und Meißel so gut umzugehen verstand wie mit der Reißfeder auf dem Zeichenbüro. Fowlers Aufmerksamkeit erregte er durch Verbesserungsvorschläge an der Seiltrommel und durch seine sich restlos einsetzende Arbeit für die Aufgabe, die ihm gestellt war.

Mit 26 Jahren war er 1862 nach England gekommen. Im gleichen Jahr noch wird er nach London zur Weltausstellung geschickt, denn man hatte entdeckt, wie ausgezeichnet der junge Deutsche mit den Menschen fertig werden konnte, und hier in London lernte er nun Menschen aus allen Ländern kennen. Staunend sah er die Wunderwerke

der Technik, die hier ausgestellt waren, und er bekommt einen starken Eindruck von dem Vorsprung, den England auf dem Gebiet der mechanischen Technik hatte.

Fowler brauchte junge tatenfrohe Menschen, vor allem für das Ausland. Max Eyth soll mit einem Dampfpflug nach Indien fahren, vorher aber noch Ägypten besuchen. Auch dort laufen Fowlersche Dampfpflüge — er soll einmal nach dem Rechten sehen. Die ganze weite Welt öffnet sich dem jungen Schwaben. Der Traum seiner Kinderjahre, einmal die Pyramiden und die geheimnisvolle Sphinx in dem an Wundern reichen Ägypten selbst kennen zu lernen, soll sich erfüllen. 1863, mit 27 Jahren, reist er über Triest nach Alexandrien. Aus den wenigen Monaten, die er dort zubringen sollte, werden fünf Jahre. Ein ungeheures, in seiner Ausdehnung nie geahntes Arbeitsfeld eröffnet sich ihm. Amerika ist im großen Bürgerkrieg. Die Häfen der Südstaaten, von denen die mit Baumwolle vollbeladenen Schiffe nach aller Herren Länder gingen, sind blockiert, die Preise der Baumwolle steigen phantastisch, man muß Baumwolle schaffen um jeden Preis, ungeheure Gewinne sind sicher. Die ägyptische Baumwolle wird sehr gelobt, aber die Mengen, die zur Verfügung stehen, genügen bei weitem nicht. Ein ägyptischer Prinz, *Halim Pascha*, hat ungeheure Landstrecken über ganz Ägypten verteilt zu seiner Verfügung. Er will sie mit Fowlerschen Dampfpflügen bearbeiten, Geld spielt keine Rolle. Aber die große Zahl, die er bestellen will, kann Fowler auch in zehn Jahren noch nicht liefern, und so will der Ägypter dem Fowler mit seinem Geld eine riesige neue Fabrik bauen, nur Dampfpflüge müsse er haben. Er ist aber auch klug genug um zu sehen, daß mit den Pflügen allein noch nichts geschehen kann. Er braucht einen Ingenieur, der damit umgehen kann und der sich mit den Arbeitskräften, die das Land hat, einzurichten versteht. Er lernt den Fowlerschen Abgesandten Max Eyth kennen, und er lernt ihn so schätzen, daß er ihm ein glänzendes Angebot macht, als leitender Ingenieur aller fürstlichen Unternehmungen in seine Dienste zu treten. Fowler ist sehr damit einverstanden, auf diese Weise einen aus seiner Schule hervorgegangenen Ingenieur in solch ausschlaggebender Stelle zu wissen, und so wird Max Eyth der Herr aller Ingenieurarbeit auf diesem ungeheuren Arbeitsfeld. Jetzt heißt es, sich zurecht zu finden. Alles mögliche und unmögliche wird telegraphisch in England bestellt. Es handelt sich ja nicht nur um Dampfpflüge, man muß auch alle die andern Maschinen haben, die für die Ernte der Baumwolle nötig sind, und vor allem muß man dafür sorgen, daß das fruchtbare kostbare Nilwasser über das Land flutet, denn nur dann kann man auf große Ernten rechnen, deren Erträgnisse es möglich machen sollen, nicht nur die riesigen Aufträge zu bezahlen, sondern die auch in Geld ausgedrückt zehn- bis zwanzigfachen Ertrag

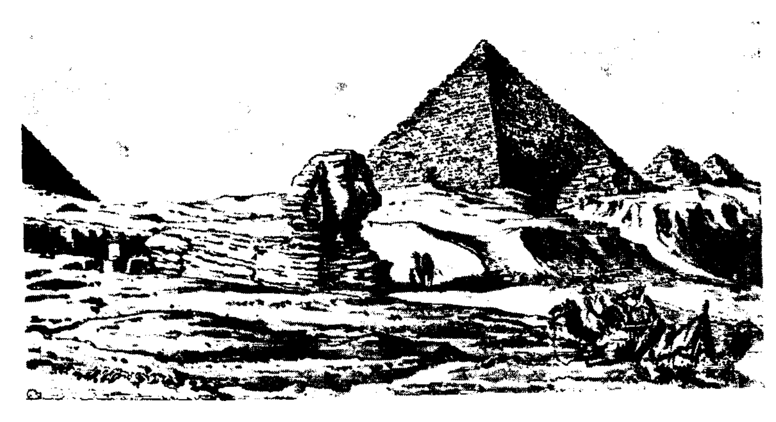


Abb. 2. Cheopspyramide und Sphinx. Aquarell

abgeben sollen. Hier hat Max Eyth, der 27 Jahre alt war, als er dieses Amt antrat, fern von der Fabrik auf sich allein angewiesen, eine große bewundernswerte Ingenieurarbeit geleistet. Er hat hier die erste Kreiselpumpe, von Lokomobilen getrieben, eingeführt, und mit diesen leicht ortsveränderlichen Maschinenanlagen naturgemäß bei weitem alles übertroffen, was bisher mit den riesigen Pumpmaschinen, wie sie im englischen Bergbau benutzt wurden, unter diesen ganz anders gestalteten Verhältnissen erzielt werden konnte. Hier war wirklich Neuland in des Wortes eigentlichster Bedeutung zu bearbeiten, und was kann es für einen jungen tatenfrohen Menschen Schöneres geben, als hier in vollkommener Unabhängigkeit seine Entschlüsse zu fassen und aller Schwierigkeiten, die vor allem auch im Anlernen der Arbeitskräfte lagen, Herr zu werden. Die vielen deutschen Ingenieure nach Eyth, die in allen Weltteilen — oft weit entfernt von jeder Kultur — Meisterwerke deutscher Technik aufzustellen und zu betreiben hatten, werden am besten einschätzen können, was Max Eyth vor 80 Jahren in Ägypten geleistet hat.

Max Eyth war nie der Ingenieur, der in der Tagesarbeit unterging, ihm war der Umgang mit den schönen Künsten Lebensbedürfnis und wundersame Erholung. Gerade die Bildung, die er aus seinem Elternhaus mitgebracht hatte, läßt ihn sich auch in die Geschichte dieses wundersamen Landes vertiefen. Die Pyramiden und Sphinxe, mit deren Zeichnungen er schon als Knabe seine Schulhefte geschmückt hatte, die sah er nun wirklich vor sich, und sein Buch „Der Kampf um die Cheopspyramide“ zeigt, wie tief er sich auch in die Mystik dieser Ingenieurleistungen vergangener Jahrtausende vertieft hat.

Der Krieg in Amerika ging zu Ende, die Nordstaaten siegten, wieder wurde Baumwolle geerntet und verkauft. Die Preise fielen, der Traum von den mit leichter Mühe erworbenen ungezählten Millionen war in Ägypten ausgeträumt. Phantastische Vermögen zerrannen in nichts. Auch Eyths Arbeitgeber konnte seine Besitzungen nicht halten. Eyth konnte bei diesem wirtschaftlichen Zusammenbruch seine Tätigkeit in Ägypten nicht fortsetzen. Fowler nahm ihn mit offenen Armen wieder auf, und kaum war er in Leeds, da hieß es, für die durch die ägyptischen Bestellungen so groß gewordene Fabrik neue Märkte für den Dampfflug zu erobern. Max Eyth fährt nach Amerika. Auch hier hat er uns anschaulich geschildert, wie er mit seinem Dampfpflug in der endlosen Prärie den Boden bearbeitete, und wie er es auch lernte, mit den Amerikanern fertig zu werden. Mit einer unbegrenzten Bewunderung für Amerika ist allerdings Max Eyth nicht nach Hause gekommen. Ihm gefiel die Herrschaft der Massen nicht, unter der man damals mit den maßgebenden Vertretern des freien Volkes ganz offen darüber verhandeln konnte, wie viel man bezahlen mußte, wenn man dieses oder jenes Gesetz im Kongreß beschlossen zu sehen wünschte. Aber über dies allzu hemmungslose Geschäftemachen hinaus war Eyth gerecht genug, auch die großen Vorteile zu sehen, die in der begeisterten Liebe des Amerikaners zum Fortschritt lagen, die ihn wagemutig über alle wirklichen und eingebildeten Schwierigkeiten hinaus das Ziel erreichen ließ.

Jedenfalls hat er auch in Amerika seinen Mann gestanden, und mit reichen Erfahrungen kam er wieder nach England zurück, um sein Wanderleben im Dienste des Dampfpfluges weiter fortzusetzen. Er pflügte in den Ebenen Ungarns, in den fruchtbaren Gebieten Rußlands, er kommt wieder nach Ägypten und Nordafrika. Er lernt Westindien kennen, und schließlich gelingt es ihm auch, in der Gegend von Magdeburg und Halberstadt deutsche Äcker mit Dampf zu bearbeiten. Er kennt die Landwirtschaft aller Erdteile, er weiß wie schwer und oft unmöglich es ist, die Erfahrungen des einen Landes auf das andere zu übertragen, wie immer wieder selbständig Neues geschaffen werden muß, um voran zu kommen. Aber er sieht auch gestaltungsfroh immer bedeutsamer das riesige Arbeitsgebiet der Technik in der Landwirtschaft sich entwickeln, und er weiß, daß weit über seine Lebenszeit hinaus hier für den Ingenieur und den Landwirt gleich Großes und Wichtiges noch zu schaffen ist. Er studiert die Fragen, die mit der Technik und der Landwirtschaft zusammen hängen, auch weit über den Dampfpflug hinaus. Er wird ein bewundernder Besucher aller Sitzungen und vor allem der Ausstellung, der schon 1838 entstandenen Königl. Landwirtschaftlichen Gesellschaft in England. Er hat gesehen, wie bodenständig der Landwirt infolge seiner Arbeit sein muß. Die Ackerbaugeräte werden so ausgeführt und benutzt, wie



Abb. 3. Moschee zu Minieh

die Vorfahren es taten, und sie wandern nur, wenn das Volk selbst wandert.

Ein Austausch der Erfahrungen zwischen den Landwirten größerer Gebiete findet so gut wie gar nicht statt. Man weiß nicht, was für Erfahrungen die andern gemacht haben, welche Geräte sie benutzen, welche Vorteile sie damit erreichen. Da entschließt sich die Landwirtschaftliche Gesellschaft eine große Schau zu veranstalten, in der Arbeitsverfahren und die Arbeitserzeugnisse des Landwirts gezeigt werden. Damit allein war auch der Technik der Weg zu ihren Kunden eröffnet. Der Ingenieur konnte hier lernen, was man von seiner Arbeit erwartete, er konnte hier zeigen, was er zu leisten vermochte. Aber diese Ausstellung erstreckte sich naturgemäß nicht nur auf die Maschinen, hier konnte man die Tiere und ihre Leistungen kennen lernen, hier wurde das Saatgut ausgestellt und die Früchte. Max Eyth hat oft auch deutsche Landwirte durch solche englische Ausstellungen geführt, und immer wieder wurde ihm gesagt, ja wenn doch so etwas in Deutschland möglich wäre.

Daran mag Max Eyth gedacht haben, als ihm, veranlaßt durch das Nachdrängen der jungen Söhne des Fabrikbesitzers in die leitenden Stellungen, das Schaffen erschwert wurde und er sich deshalb entschloß, 1882 seine zwanzigjährige Tätigkeit bei Fowler aufzugeben. In freundschaftlichster Form hat sich diese von Eyth vorausgesehene ihn

aber doch recht schmerzlich packende Loslösung von dem von ihm mitgeschaffenen Arbeitsgebiet vollzogen. „Ich schneide nicht ab ohne wieder anzuknüpfen“, dies Wort hat er damals in einem Brief festgelegt. Und in seinem „Frachtbrief“ heißt es:

Mit einem Köfferlein
Niedlich und klein,
Zog ich einst frisch in die Welt hinein.
Mit Kisten und Kasten,
An die zwanzig Lasten,
Komm' ich heut' wieder, vielleicht für immer zu rasten.
All das in kurzer Frist,
Nun es gewogen ist,
Weiß ich, wie leicht mir war — und wie schwer mir's ist.

Dies Anknüpfen wäre ihm leicht geworden, denn er hatte sich durch seine Arbeiten einen Namen gemacht. Man wollte ihn für den Aufbau in Rumänien, am Kongo und in Portugal haben. Glänzende Angebote lagen ihm vor. Das Vermögen, das er sich durch seine Arbeit erworben hatte, hätte es ihm auch ermöglicht, sich in Deutschland an einem Unternehmen zu beteiligen oder eine eigene Maschinenfabrik zu begründen. Der Sechsundvierzigjährige suchte sich aber von all dem nichts zu neuer Arbeit.

Er zog nach Bonn am Rhein, eine große landwirtschaftliche Hochschule ist mit Bonn verbunden. Das Rasten will ihm nicht gefallen. Nur seinen Neigungen zu leben, dazu ist er noch zu tatenfroh. Er will für Deutschland arbeiten auf dem Gebiet das er kennt, er will nach dem englischen Vorbild, dessen segenspendende Kräfte er 20 Jahre lang mit angeschaut hat, eine deutsche Landwirtschaftsgesellschaft gründen. Die Verhältnisse im eigenen Lande wollen ihm mit seinem durch seine Auslandserfahrungen geschärftem Weitblick garnicht gefallen. Er findet zwar viele, ja allzu viele landwirtschaftliche Vereine und Vereinchen, aber alles ist in sich zerrissen durch weltanschauliche, politische und religiöse Fragen. Es gibt katholische und protestantische Landwirte, es gibt konservative, liberale und demokratische Landwirte, und Max Eyth ist der Meinung, daß alles dieses mit der größten Arbeit des deutschen Menschen, mit der Bestellung des Bodens recht wenig zu tun hat. Diese unglaubliche Zerrissenheit Deutschlands möchte er ausgeschaltet sehen bei der Arbeit, die sich das Ziel setzt, die landwirtschaftliche Arbeitsweise zu verbessern und den deutschen Menschen ausreichend zu ernähren.

Dann gefällt ihm, der aus dem selbstbewußten England kommt, dieses immerwährende Rufen nach staatlicher Hilfe nicht. Er fühlt, daß seine Landsleute zu wenig Selbstbewußtsein haben. Sie müßten ihr Arbeitsgebiet aus eigener Kraft ausbauen und entwickeln. Aber sie lau-

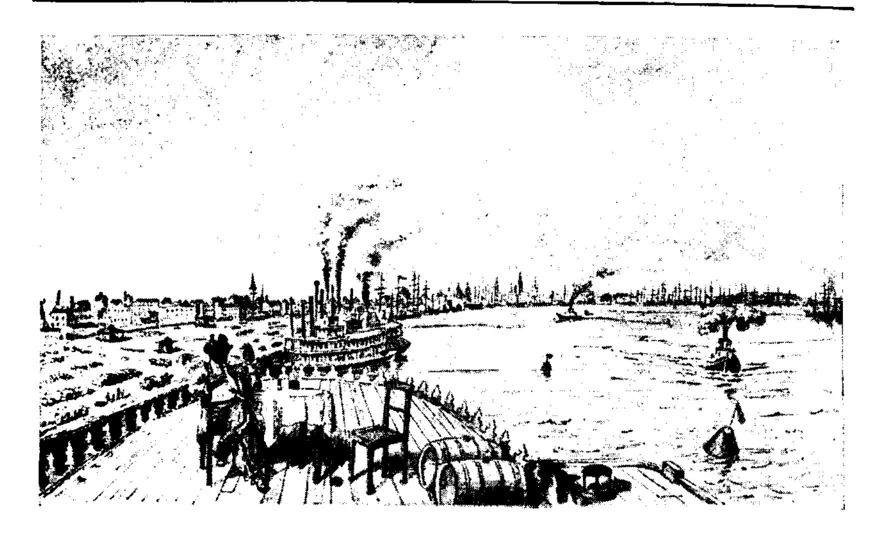


Abb. 4. New Orleans. Am Mississippi

fen alle, soweit sie Beziehungen haben, in die Ministerien, oder suchen durch den Reichstag und das Abgeordnetenhaus die Regierung gebefreudig zu machen. Diesen Kampf aller gegen alle will Eyth nicht mitkämpfen. Ist es nicht möglich, einen Verein zu schaffen und in diesem alle deutschen Landwirte, die vorwärts streben, zusammenzufassen? Als Eyth diesen Plan einigen wenigen ihm näher stehenden Freunden zu entwickeln beginnt, sind alle erstaunt über die Kühnheit des Gedankens, und sie, die viel mehr von den inneren Verhältnissen im eigenen Lande, von den Widerständen kennen, als Max Eyth, der so lange Deutschland fern war, sie raten fast alle ab. Sie halten es für unmöglich, Menschen der denkbar verschiedensten politischen Gesinnung an einen Tisch zu bringen. Aber Max Eyth beginnt den Kampf. Er stellt sich selber Bedingungen. Wenn es ihm in der und der Zeit nicht gelingt, 250 Mitglieder zu gewinnen und in zwei Jahren 2500, die grundsätzlich mit seinen Forderungen einverstanden sind, dann will er den Plan als gescheitert ansehen. Gelingt es aber, dann will er den neuen Verein mit allen Mitteln lebenskräftig gestalten. Hauptgrundsatz ist: die Gesellschaft soll unabhängig sein und bleiben von Staatsmitteln. Aus eigener Kraft soll sie ihre Aufgaben lösen. Hierzu hielt er einen Mindestbeitrag von 20 M im Jahr für notwendig, eine Summe, die das größte Erschrecken seiner Freunde hervorrief, war es damals doch möglich 3 oder 5 M Jahresbeitrag bei den anderen Vereinen zu zahlen.

Hier nimmt sich Max Eyth den Verein deutscher Ingenieure zum Vorbild, dessen Mitglied er seit 1869 war und der ihm 1905 seine höchste Auszeichnung, die goldene Grashof-Denkmünze verliehen hatte. Der VDI hatte von seiner Gründung an — verglichen mit anderen Vereinen — einen hohen Beitrag festgelegt, und stets den größten Wert darauf gelegt, niemals Unterstützungen des Staates angenommen oder erbeten zu haben. Was die Ingenieure fertig gebracht hatten, sollten die Landwirte jetzt lernen. Aber immer wieder wird ihm vorgehalten, das sei unmöglich. Wenn sich der Staat nicht mit 100 000 M beteilige, sei überhaupt nichts zu hoffen. Eyth bleibt unerbittlich, und seine von ihm selbst gestellten Bedingungen werden erfüllt. Nach zwei Jahren ist die Zahl von 2500 Mitgliedern schon überschritten, hervorragende deutsche Landwirte sind beigetreten, und das Wunder ist vollbracht — am gleichen Tisch sitzen Menschen verschiedenster politischer Auffassung. Aber nun sagen die Freunde ihm: du hast das Kind in die Welt gesetzt, du mußt es auch die ersten Jahre führen. Eyth vertauscht Bonn mit Berlin, nur in der Reichshauptstadt kann er die über das ganze deutsche Land sich erstreckenden Arbeiten durchführen. Eine ganze Mannesarbeit liegt jetzt auf ihm, der unermüdlich tätig ist, die Arbeiten der Gesellschaft durchzuführen. Selbstlos spendet er aus seinem Vermögen, wo Not am Mann ist, beansprucht für sich keinen Pfennig, so leitet Max Eyth, der Schöpfer der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, den Verein 14 Jahre lang.

Im Plan Eyths lag es, neben den Versammlungen die notwendig waren, jedes Jahr eine große Ausstellung zu veranstalten. Diese Ausstellungen sind, bis heute durchgeführt, weit über Deutschlands Grenzen berühmt geworden und haben im Sinne Eyths unendlich viel zum Fortschritt der deutschen Landwirtschaft auf allen Gebieten beigetragen. Aber Eyth wollte nicht eine Ausstellung nach dem Muster der allzu vielen schon vorhandenen Ausstellungen einrichten. Es sollte eine Schau der Arbeit und nicht eine Vergnügungsangelegenheit sein. Scharf kritisiert er die Ausstellungen, die nichts als große Vergnügungsstätten seien. Bei seinen Ausstellungen erwartet er, daß viel mehr Schweiß vergossen als Bier und Wein getrunken würde. Hier sollten die Erzeugnisse und die Menschen aus allen Gegenden miteinander in ernsten Wettbewerb treten. Hier sollte nicht geredet werden über das, was sein sollte, sondern es sollte gezeigt werden, was erreicht war. Die erste Ausstellung ist in Frankfurt am Main 1887. Sie war bereits ein unerwarteter Erfolg, und so ist man dann in alle Gebiete Deutschlands gewandert, hat dem Städter gezeigt, was der Landwirt leistet, hat den Landwirt mit den Arbeiten seiner Arbeitsgenossen überall im deutschen Vaterland bekannt gemacht und hat

der deutschen Technik die Möglichkeit gegeben, ihre neuesten Erzeugnisse vorzuführen. Streng durchgeführte Versuche wurden veranstaltet. Um sich hier nicht zu zersplittern, wurde jedes Jahr eine andere Gruppe gewählt und je nachdem es erforderlich war, wurden auch vor und nach der Ausstellung die Versuche gewissenhaft durchgeführt, so daß sich stets aus den Ergebnissen wichtige Neuerungen für die weitere Entwicklung ergaben. Max Eyth selbst hat uns in seinen Schriften ein lebendiges Bild gegeben von diesen umfassenden Arbeiten. Er hat uns gezeigt, mit welchen Schwierigkeiten hier zu kämpfen war, und wie immer wieder der Mensch am schwersten zu ändern und zu behandeln ist.

Als Max Eyth 60 Jahre alt wurde, hielt er die Zeit für gekommen, sein Kind anderer Pflege zu überlassen. Nun wollte er auch einmal losgelöst von pflichtgebundener Arbeit sein Leben leben. Man hat ihm diesen Abschied nicht leicht gemacht; aber Eyth blieb seinem Entschluß treu. Er zog nach Ulm und widmete sich der Pflege seiner Mutter. Vom Michelsberg hatte er einen herrlichen Blick auf die alte Stadt, das Ulmer Münster und die Donau. Hier war es ihm beschieden, sich die Welt noch ein Jahrzehnt anzusehen und uns auch die Schriften zu schenken, für die wir ihm von Herzen dankbar sind. Von hier aus hat er lebensfroh auch weiter die Verbindung zu seinen Freunden aufrecht gehalten, und wenn er auch nicht entfernt allen den Wünschen, die an ihn herantraten, Vorträge zu halten und an feierlichen Veranstaltungen teilzunehmen, erfüllen konnte, so hat er doch immer wieder von neuem seinen groß gewordenen Kreis von Freunden und Verehrern erfreut mit seinen Darstellungen technischer und auch allgemein kultureller Art, deren Grundlage er sich in seinem arbeitsreichen Leben selbst geschaffen hatte.

Am 25. August 1906 ist Max Eyth in Ulm von uns geschieden.

„Taten, nicht Tinte" war ein Leitwort seines Lebens, und die Weisheit eines der großen Pharaonen vor 4000 Jahren „Bei jedem Werk des Menschen strecket sich die Zunge hervor, wer aber die Hand anlegt, bringet es zustand", hat er oft seinen Freunden vorgehalten. Wie dankbar aber sind wir, daß zu den Taten doch die Tinte gekommen ist, und daß er uns seinen ganzen Menschen mit seiner Hingabe und vor allem mit seinem alle Gegensätze versöhnenden Humor gezeigt hat. Wie viel Anregung sprudelt auch heute noch aus seinem Buch „Lebendige Kräfte", wie erleben wir seine „Wanderzeiten" in seinem „Hinter Pflug und Schraubstock", wie viel gibt uns heute sein Buch „Die Feierstunden" oder in den gesammelten Schriften die drei Bände „Im Strom unserer Zeit". Zu dem großen Buch „Der Kampf um die Cheopspyramide" gesellt sich als letztes umfassendes Werk, in Ulm geschrieben, „Der Schneider von Ulm",

der uns so liebevoll zeigt das Ringen auch des unglücklichen Erfinders, um die Sehnsucht des Menschen, die heute erfüllt ist: fliegen zu können. Alle diese Schriften Max Eyths sind getragen von der Liebe zur Technik, von der Begeisterung für seinen Beruf.

Weit über Ärger und Verdrießlichkeiten des Alltags hinaus sieht Eyth in der Ingenieurarbeit das Ringen um die Macht, das männliche Kämpfen um die Geheimnisse der Natur und das streitbare Überwinden auch der für unüberwindlich gehaltenen Schwierigkeiten. Seine große Lebensaufgabe ist durchdrungen von dem Glauben an das Gute im Menschen. Er, der auf Sondergebieten Großes geleistet hat, ist doch nie im Spezialistentum untergegangen. Er hat versucht, von einem Gebiet in das andere eine Brücke zu schlagen. Nach der großen Zusammenfassung strebte er Zeit seines Lebens. Unter Technik verstand er alles, was dem menschlichen Wollen eine körperliche Form gibt, und er sah deshalb in der Technik etwas von der Schrankenlosigkeit des reinen Geisteslebens. So konnte sich Max Eyth, als die deutschen Ingenieure ihn baten, am 6. Juni 1904 auf ihrer Hauptversammlung in Frankfurt einen Vortrag zu halten, das für einen Fachverein scheinbar merkwürdige Thema wählen: „Poesie und Technik". Wer das Glück hatte, diesen Vortrag zu hören, der weiß, wie es ihm hier gelang, sein inneres Fühlen auf die große Hörerschar so restlos zu übertragen, daß schließlich der stürmische Beifall ein begeistertes Bekenntnis wurde zu der idealen Auffassung des Berufes, wie sie der große Schwabe vertrat.

Wenn die Ingenieure nicht selbst die Poesie ihres Berufes betonen, wie es der Soldat, der Jäger und der Landmann so oft tun, so liege das daran, daß die neuzeitliche Technik noch nicht alt genug sei. Es liege auch an dem rastlosen Vorwärtsdrängen der Ingenieurarbeit. Der Boden auf dem wir arbeiten, mußte erst einer feindlichen Welt abgerungen werden. „Wir hatten keine Muße, den Musen nachzulaufen", und dann schließt er den Vortrag, und damit wollen auch wir diese kurzen Ausführungen über Eyth als Ingenieur, als Landwirt, als Organisator und Dichter abschließen: „Das ist recht und gut. Aber nicht recht und gut ist es, wenn auch wir auf den idealen Gehalt unseres Schaffens mit einer gewissen Gleichgültigkeit herabsehen. Das sollten wir nicht tun. Nicht um unserem weltumspannenden Beruf bei Leuten Anerkennung zu verschaffen, deren „allgemeine Bildung" sie verhindert, zu wissen, wer dem Leben unserer Zeit seine Form und Gestalt gibt, nicht um das Wissen unseres Berufs an die Stelle zu setzen, welche heute das Wissen, die Gedanken und Gefühle einer toten Vergangenheit einnehmen, sondern um im eigenen Hause das Feuer der Begeisterung zu nähren, das uns in dem nie endenden Kampf für den Fortschritt,

für die Zukunft der Menschheit nötig ist. — Ja! — und um dem törichten Vorwurf auch den Schein der Berechtigung zu nehmen, als ob wir die Welt dem Materialismus entgegenführten. Eine falschere Auffassung unserer Bejahung des Lebens, unseres Wissens und Wollens läßt sich nicht denken.

Denn unsere Lebensaufgabe gehört zu den höchsten, die sich auch die Poesie je gestellt hat: Nicht der Materie zu dienen, sondern sie zu beherrschen."



Max-Eyth-Tafel
für das Deutsche Museum in München,
gestiftet vom Verein deutscher Ingenieure
Bildhauer K. Spribille, Berlin

Die Abb. 1 bis 4 sind nach Originalen von Max Eyth im Museum der Stadt Ulm gefertigt

Landwirtschaftstechnik in Deutschland

Von *Walter Stauß*, Berlin*)

Rückblick über 100 Jahre

Die Entwicklung des wirtschaftlichen Lebens hat in den letzten hundert Jahren einen besonders schnellen Schritt eingeschlagen. Zeiten schneller Entwicklung haben aber nie Muße zur Rückschau, alles schaut nach vorn, alles drängt vorwärts und strebt vorgesteckten Zielen zu. So ist es verständlich, daß Zeiten schneller Entwicklung arm an Erinnerungen sind, daß sie keinen Raum haben für vergleichende Betrachtungen der neuen Zeit mit der nur eine kurze Spanne zurückliegenden. Daher sei hier das Versäumnis nachgeholt und anläßlich der hundertsten Wiederkehr des Geburtstages an dem Leben des ersten und größten deutschen Landtechnikers *Max Eyth* in großen Linien ein Rückblick über die letzten hundert Jahre gegeben.

Vor hundert Jahren! Europa war nach den politischen Erschütterungen der Napoleonischen Zeit schnell wieder in eine geruhsame Gemächlichkeit verfallen. Seine 150 Millionen Einwohner lebten ihr bescheidenes und selbstgenügsames Leben weiter, das sich von dem Leben des Mittelalters nur wenig unterschied. Der Bauer Europas baute nach seiner Urväter Weise in der Dreifelderwirtschaft Getreide und betrieb Viehzucht und Milchwirtschaft. Das Handwerk war noch stark in den Bindungen des alten Zunftwesens verhaftet; Handel und Wandel gingen einen ruhigen und gemächlichen Schritt.

Da beginnt, wie mit einem Wunder, der Schritt der Entwicklung schneller und ausgreifender zu werden. Die Völker des europäischen Erdteils wachsen schnell und plötzlich stark an. Die Bevölkerung Europas vermehrt sich von 150 Millionen im Jahre 1800 auf 480 Millionen im Jahre 1933, sie verdreifacht sich in 130 Jahren. Darüber hinaus aber bilden europäische Menschen in diesen 130 Jahren eine ganze Reihe überseeischer weißer Völker: Die Kanadier, die Nordamerikaner, die Südafrikaner, die Australier sind ganz, die südamerikanischen Völker zu einem erheblichen Teil aus europäischem Blute gebildet. Alle diese Völker sind erst im 19. Jahrhundert Völker geworden. Die

---

*) Der Verfasser ist hauptamtlich Bearbeiter für Fragen der landwirtschaftlichen Betriebswirtschaft im Reichskuratorium für Technik in der Landwirtschaft. Veröffentlichungen aus seinem Arbeitsgebiet sind in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure erschienen.

Einwohnerzahl der Vereinigten Staaten von Amerika betrug 1800 nur 5,3 Millionen, im Jahre 1870, also kurz nach dem Bürgerkrieg, erst 38,5 Millionen und 1920 106 Millionen, um jetzt mit 125 Millionen das bei weitem größte und zahlreichste weiße Volk der Erde zu sein. Der australische Staatenbund wuchs von 5000 Menschen im Jahre 1800 auf 6,5 Millionen im Jahre 1930 an. Es ist klar, daß dieses ungewöhnliche schnelle Wachstum der neuen weißen Völker nicht auf der eigenen Fruchtbarkeit beruhen konnte. Es ist bedingt durch die große Zahl der europäischen Einwanderer, die in die neuen Länder zogen.

Die biologische Kraft der europäischen Völker in den letzten hundert Jahren war also außergewöhnlich groß. Sie schuf die neuen weißen Völker und füllte den eigenen Raum immer dichter mit Menschen an. Die Bevölkerung Englands wuchs von fast 16 Millionen im Jahre 1800 auf 31,5 Millionen im Jahre 1870 und auf fast 49 Millionen im Jahre 1930. England ging mit dieser raschen Vermehrung seiner Menschen in Europa voran. Daher wurde der Raum des wachsenden englischen Volkes auf dem eigenen Boden bei der extensiven Form der Landwirtschaft und des Gewerbes sehr bald zu eng. Die wachsende Bevölkerung suchte nach Arbeit und Brot, und dieser Druck setzte die technischen Erfindungen in Bewegung, die schon seit längerer Zeit bekannt gewesen waren. Die Dampfmaschine war schon seit Beginn des 18. Jahrhunderts in den Bergwerken Englands zum Wasserheben in Tätigkeit und und fing an, Flußschiffe als Dampfer von Wind und Strömung freizumachen. Aber erst der Druck der wachsenden Bevölkerung schuf aus diesen technischen Erfindungen allmählich beginnend, dann immer schneller die Industrie. So hatten aus der Not der Zeit schon am Ende des 18. Jahrhunderts der Haarschneider *Arkwright* die Spinnmaschine und der Pfarrer *Cartwright* den mechanischen Webstuhl erfunden, die unter schweren sozialen Widerständen das alte Handspinnen und das Weberhandwerk auflösten und zu der neuzeitigen Textilindustrie Lancashires umformten. Dadurch wurde England der Hersteller von Geweben für die ganze Welt und konnte so der stark wachsenden Bevölkerung Arbeit und Brot sichern.

In Deutschland setzte die gleiche Entwicklung einige 20 Jahre später ein. Seine Bevölkerung nahm ebenfalls ganz außergewöhnlich schnell zu, sie wuchs von knapp 24 Millionen im Jahre 1800 auf 41 Millionen im Jahre 1870, auf über 56 Millionen um die Jahrhundertwende und stieg bis heute auf 66 Millionen an. Daneben haben deutsche Menschen an dem Aufbau der weißen Völker in Übersee einen sehr bedeutenden Anteil genommen. Es ist bekannt, daß das nordamerikanische Volk einen so hohen Hundertteil von deutschen Menschen aufwies, daß der Entscheid über die englische oder deutsche Sprache als Amtssprache nur mit einer Stimme Mehrheit im Parla-

ment zugunsten der englischen Sprache ausfiel. Außerdem waren in allen Ländern der Erde deutsche Menschen als Forscher, als Landwirte, als Fabrikanten und Gewerbetreibende tätig. Aber neben der großen Auswanderung deutscher Menschen erfolgte im deutschen Raum eine so große Verdichtung der Bevölkerung, daß auch Deutschland von einem Agrarland in ein Industrieland umgeformt wurde. Noch 1869 war Deutschland ein in großem Umfang Getreide ausführendes Land, nach dem deutsch-französischen Krieg wurde es fast über Nacht ein Einfuhrland für landwirtschaftliche Erzeugnisse. Seine Bevölkerung ist von 47 Menschen je Quadratkilometer im Jahre 1800 auf 140 Menschen je Quadratkilometer im Jahre 1933 gestiegen. Während im Jahre 1800 eine Fläche von 1,2 ha landwirtschaftlich nutzbaren Landes für den Kopf der Bevölkerung zur Verfügung standen, sank der Anteil je Kopf der Bevölkerung auf 0,4 ha.

Das Wachstum eines Volkes ist so lange gefahrlos, wie auf dem eigenen Grund und Boden noch genügend Nahrungsmittel erzeugt werden können, um seine Ernährung zu sichern. Diese Grenze ist keine feste Linie, sie ist abhängig von dem Ertrag der Landwirtschaft des betreffenden Volkes. Wenn auch die Landwirtschaft Deutschlands ebenso wie die der anderen europäischen Länder in dieser Zeit sich stark entwickelte, so konnte doch die gesteigerte Erzeugung landwirtschaftlicher Güter mit der Bevölkerungsvermehrung nicht Schritt halten. So blieb diesen Völkern nur der eine Weg, durch den Ausbau ihrer Industrien die übrige Welt mit gewerblichen Erzeugnissen zu versorgen und dagegen Nahrungsmittel und Rohstoffe im Tausch hereinzunehmen. Es bildete sich unter dem Druck der wachsenden Bevölkerung Europas eine weltwirtschaftliche Form der Arbeitsteilung heraus, die die europäischen Völker zu den Herstellern der gewerblichen Erzeugnisse machte, deren Abnehmer, die überseeischen Völker, dafür Nahrungsmittel und Rohstoffe an die Europäer lieferten. Daß sich diese Entwicklung nicht allein auf der wirtschaftlichen Ebene bewegte, sondern auch politisch ausgetragen wurde, ist bekannt. Die Forderung der „offenen Tür“ ist der Ausdruck des politischen Anteils dieser wirtschaftlichen Bewegung. Es ist der ewige Kampf um die Nahrung, der in dieser Form seinen Ausdruck findet.

Die Gefahr des Überschreitens der Grenze der Ernährung der europäischen Völker von eigener Scholle wäre niemals in Erscheinung getreten, wenn nicht die Fruchtbarkeit der überseeischen Völker auch zur Industrialisierung ihrer Länder geführt hätte. Auch sie mußten sich eigene Industrien aufbauen, um ihren Menschen Arbeit und Brot zu sichern. Damit aber wurde die alte Form der weltwirtschaftlichen Arbeitsteilung zerstört und umgeformt. Den Anfang mit dieser Entwicklung machten die Vereinigten Staaten von Amerika, die sich schon

in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine starke Industrie aufbauten. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden sie die stärksten Wettbewerber der europäischen Völker. Europäische Menschen schufen also durch ihre starke Einwanderung in Nordamerika den Bevölkerungsdruck, der zur Industrialisierung zwang und dadurch den europäischen Mutterländern den Kampf um das tägliche Brot erschwerte.

Andere überseeische Völker nahmen dieselbe Entwicklung, die eine besondere Gefahr wurde, als das japanische Volk dasselbe Wunder der außerordentlich schnellen Bevölkerungsvermehrung erfuhr. Eine besondere Gefahr deswegen, weil die japanischen Menschen dadurch von der Natur besonders begünstigt sind, daß sie einmal einen erheblichen Teil ihrer Nahrung aus dem billigen Fischfang decken, und weil ihnen ihr Klima erlaubt, in sehr billigen und einfachen Häusern zu leben, deren Unterhaltung oder Miete außerordentlich billig ist. Die Lebenshaltungskosten des japanischen Arbeiters sind außerordentlich gering. Die praktische Auswirkung dieser Begünstigung zeigt sich darin, daß die 60-Stunden-Woche in der japanischen Textilindustrie mit 7 RM bezahlt wird, die 48-Stunden-Woche in Lancashire mit 35 RM.[1]) So sind die japanischen Industrien in der Lage, den europäischen und nordamerikanischen Wettbewerb durch niedrigste Preise zu unterbieten. Das japanische Volk hat sich in den letzten 60 Jahren verdoppelt, und so ist Japan gezwungen, die Welt mit billigen Industriewaren zu überschütten, um seiner Bevölkerung Arbeit zu sichern. Dazu hatte Japan den Vorteil, daß es die technischen Erfindungen der Europäer übernehmen und daß es seine Industrien nach dem neuesten Stande der Technik aufbauen konnte, während die europäischen Völker alle durch Neuerungen bedingten Versuchskosten zu tragen hatten.

Mit der Zerstörung der alten weltwirtschaftlichen Arbeitsteilung treten für die europäischen Völker und besonders für Deutschland nach dem verlorenen Krieg die Gefahren hervor, die durch das Überschreiten der Grenzen der Ernährung des Volkes von eigener Scholle in Kauf genommen worden waren. Der weitere Ausbau der Industrie kann den übervölkerten Ländern keine Sicherheit für die Ernährung ihrer Menschen mehr geben, da die Welt im ganzen überindustrialisiert ist. Darum wird die Tatkraft dieser Völker auf den Ausbau ihrer Landwirtschaft gelenkt, um die Gefahr des Überschreitens der Grenze der Ernährung des Volkes von eigener Scholle dadurch zu beseitigen, daß die eigene Scholle so intensiv genutzt wird, daß sie allen Volksgenossen und den heranwachsenden Geschlechtern Arbeit und Brot zu geben vermag.

---

[1]) *Spengler, Oswald:* Jahre der Entscheidung. München 1933

Bäuerliche Landwirtschaft

Die Landwirtschaft wird in ihrer Form von Klima und Boden bedingt. Während der größte Teil der Welt, besonders der neuen Welt, ein semi-arides Klima aufweist, in dem die Verdunstungshöhe die Niederschlagsmenge übersteigt, hat Europa ein humides Klima, dessen Niederschlagsmenge die Verdunstung überwiegt. Diese klimatischen Unterschiede machen die Böden der semi-ariden Gebiete zu Steppenböden und das Land selbst zu Steppen, Savannen oder Prärien, während die Böden der humiden Gebiete Waldböden sind, die Laub- und Nadelwälder tragen. Die landwirtschaftliche Nutzung der Steppen nennen wir Farmen, während die der regenreichen Waldgebiete als bäuerliche Wirtschaftsweise bezeichnet wird.

In den semi-ariden Steppengebieten dringt der Regen in den Boden je nach der Menge mehr oder weniger tief ein, wird dann durch die starke Verdunstung wieder kapillar nach oben gezogen und verdunstet an der Oberfläche. Die im Regenwasser gelösten Stoffe wandern also mit den Niederschlägen im Boden auf und nieder, sie gehen nicht verloren, und der Boden verändert sich nur wenig. Dagegen durchrieseln die Niederschlagsmengen in den humiden Waldgebieten dauernd die Böden. Die absinkende Feuchtigkeit nimmt die gelösten Stoffe mit in den Untergrund und führt sie in Quellen, Bächen, Flüssen und Grundwasseradern ab. Mit den gelösten Stoffen werden kolloidale Teile in den Untergrund gewaschen, werden an der Grenze des Luftzutritts ausgefällt und bilden dort Bodenverdichtungen, die bis zur Bildung von Ortstein und Raseneisenstein führen können. Diese Untergrundverdichtungen erschweren das Eindringen der Pflanzenwurzeln und machen bei Ortstein- und Raseneisensteinbildung den Boden vollkommen unfruchtbar, wie wir es in Deutschland in Teilen der Lüneburger Heide und der Oberlausitz sehen. Während also der Boden der semi-ariden Steppengebiete nur sehr geringen Veränderungen unterworfen ist, verändert sich der Boden der humiden Waldgebiete dauernd, er „podsoliert", er wird an der Oberfläche ausgebleicht und verliert damit dauernd an Fruchtbarkeit.

Damit hat der Farmer der Steppengebiete in seinem Boden ein leicht zu behandelndes Erzeugungsmittel. Er bearbeitet ihn und sät und erntet, ohne daß er seinem Boden eine besonders pflegliche Behandlung zuwenden muß. Er kann ein und dieselbe Frucht viele Jahre hintereinander anbauen, ohne daß der Boden an Fruchtbarkeit verliert. Daher gleicht der Farmbetrieb der Steppengebiete sehr viel mehr einem Fabrikbetrieb, da er sich auf den Anbau einiger weniger Früchte oder auch nur e i n e r Frucht beschränken kann. Die Weizen- oder Maisfarmen der nordamerikanischen Prärie, der südamerikanischen Savannen oder der australischen oder südafrikanischen

Steppen sind der Ausdruck dieser Betriebsform. Sie setzt die Farmer in die Lage, alle Erzeugungsmittel auf den Anbau einer oder einiger weniger Früchte anzusetzen. Das hat auf den Einsatz technischer Hilfsmittel sehr weitgehenden Einfluß, weil mit wenigen, aber großen, leistungsfähigen landwirtschaftlichen Maschinen gearbeitet werden kann. Gegenüber der Vielzahl von Maschinenarten im bäuerlichen Betrieb ermöglichen sie ein kleines Maschinenkonto und erleichtern die Verzinsung und Tilgung des Maschinenkapitals. Dadurch ist es den Farmbetrieben möglich, das Getreide zu erheblich geringeren Preisen zu erzeugen als die bäuerliche Wirtschaft. Die Flächeneinheit der farmwirtschaftlich genutzten Steppen bringt nur einen Bruchteil der Ernte, den dieselbe Flächeneinheit der bäuerlichen Wirtschaften der humiden Waldgebiete bringt. Aber der Arbeitseinsatz ist auf den Farmen so gering, daß die Erzeugungspreise wesentlich unter denen der bäuerlichen Wirtschaften bleiben können. Daher hat der Wettbewerb der überseeischen Farmen mit den bäuerlichen Wirtschaften Deutschlands auf dem Gebiet des Getreidebaues den deutschen Bauer außerordentlich schwer geschädigt. Nicht das Unvermögen des deutschen Bauern war die Ursache dieses wirtschaftlichen Niederganges, sondern die leichteren Erzeugungsbedingungen der überseeischen Farmwirtschaften.

Die bäuerliche Wirtschaft kann keine einseitige Betriebsweise aufnehmen. Die pflegliche Behandlung des Bodens verlangt eine enge Verflechtung von Tierzucht und Ackerbau, da der Stalldung der Tierhaltung die Fruchtbarkeit des Bodens erhält und vermehrt. Der Stalldung bildet Kolloide im Boden, die die Feuchtigkeit festhalten und das Absinken der löslichen Stoffe verhindern und verzögern. Er bildet darüber hinaus den Humus, der den Pflanzen die Nährstoffe in einer für die Wurzeln leicht aufnehmbaren Form darbietet. Der Stalldung der bäuerlichen Wirtschaft ist eine wesentliche Grundlage der Fruchtbarkeit und der Wirtschaftlichkeit. Darüber hinaus muß die bäuerliche Wirtschaft auf dem Acker einen Wechsel von Flachwurzlern (Getreide) und Tiefwurzlern, in der Hauptsache Blattgewächsen, vornehmen, da die Tiefwurzler die tieferliegenden Nährstoffe des Bodens auszunützen vermögen. Die Blattgewächse aber beschatten den Boden, erlauben auch eine bessere Bearbeitung durch Häufeln, Igeln und Hacken während des Wachstums, so daß die Bodengare und die Tätigkeit des Kleinlebewesens im Boden erhalten bleiben. Die bäuerliche Wirtschaft treibt einen ständigen Fruchtwechsel, bei dem Hackfrüchte, Kartoffeln und Rüben das Getreide ablösen und umgekehrt, sie ist also gezwungen, eine große Zahl von verschiedenen Früchten anzubauen. Die Vielseitigkeit erhöht die Erträge der Betriebe, aber sie erschwert ihre Bewirtschaftung; denn die Fruchtfolge muß nicht nur

den Forderungen des Bodens gerecht werden und die Marktlage berücksichtigen, sie muß auch auf den Besatz des Betriebes an menschlichen und tierischen Arbeitskräften abgestimmt sein. Sie muß ausgleichend auf den Arbeitsbedarf des Betriebes einwirken und muß durch Einschalten von Pflanzen, die viel Handarbeit verlangen, oder umgekehrt von Pflanzen, die keine oder nur wenig Handarbeit oder auch Gespannarbeit erfordern, den Arbeitsbedarf so regeln, daß die vorhandenen Arbeitskräfte möglichst zu jeder Zeit gut ausgenützt sind. Diese betriebswirtschaftliche Auswägung des Betriebes ist eine schwere Kunst, die bis zu den letzten Feinheiten nur von wenigen Bauern beherrscht wird. Die Vielseitigkeit aber erschwert auch die Einstellung von technischen Hilfsmitteln. Sie bedingt auf der einen Seite eine große Zahl von verschiedenen Maschinen und Geräten für die verschiedensten Arbeitsgänge, auf der anderen Seite aber werden diese Maschinen und Geräte nur sehr kurze Zeit im Jahre ausgenutzt, so daß die Verzinsung und die Tilgung des darin festgelegten Geldes sehr erschwert wird. Diese Besonderheit der bäuerlichen Wirtschaftsweise hat denn auch die Entwicklung der Landmaschine in Deutschland stark beeinflußt.

Entwicklung der Landwirtschaftstechnik

Die Landwirtschaftstechnik ist noch sehr jung, da auch die bäuerliche Wirtschaftsweise in ihrer heutigen Form noch sehr jung ist. Noch vor hundert Jahren, also zur Zeit der Geburt *Max Eyths,* wurde die alte einfache Dreifelderwirtschaft getrieben, die Sommergetreide nach Wintergetreide mit nachfolgender Schwarzbrache bringt. Die Schwarzbrache besteht in der Bearbeitung des Ackers während des ganzen Frühlings und Sommers durch Pflügen und Eggen, ehe im Herbst das Wintergetreide eingesät wird. Die Schwarzbrache ist also eine Erholungspause für den Boden, er bringt einen Sommer keine Frucht und wird gepflegt, um neue Kräfte zu sammeln. Diese Erholungszeit war notwendig, um den Boden in der Zwischenzeit mit Stalldung befahren zu können und durch Schälen, Pflügen und Eggen die Unkrautvernichtung durchzuführen. Sie war aber auch nötig, weil sie eine bessere Arbeitsverteilung aufwies; denn bei dem fast reinen Getreidebau der Dreifelderwirtschaft drängte sich sonst alle Arbeit im Frühjahr zur Sommergetreidebestellung und besonders im Herbst zur Ernte und Herbstbestellung des Wintergetreides zusammen. Durch die Schwarzbrache wurde also die Zeit für ein Drittel des Ackerlandes gewonnen, um es während der arbeitsarmen Zeit des Spätfrühlings und Frühsommers bearbeiten zu können.

Diese einfache Dreifelderwirtschaft wurde erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts allmählich mit der Einführung des Kleebaues verlassen. Es setzte die „Besömmerung" der Schwarzbrache ein, so daß



Abb. 1. Wechselpflug

sie ebenfalls alle Jahre eine Ernte brachte. Die Blattfrüchte schieben sich allmählich in die Fruchtfolge ein und erlauben eine wirtschaftlichere Nutzung des Bodens, ohne daß er in seinen Erträgen nachläßt. Sehr bald nach der Einführung des Klees breitete sich der Kartoffel- und der Zuckerrüben- und Futterrübenbau aus. All diese Entwicklungen gehen in der Landwirtschaft nur sehr allmählich, weil der Bauer seiner ganzen Veranlagung nach beharrend sein muß, und weil alle Neuerungen in die bäuerliche Wirtschaft nur langsam eingeführt werden können, um den Gesamtbetrieb nicht zu stören. Während des ganzen 19. Jahrhunderts wird schrittweise die Schwarzbrache durch die „grüne Brache" verdrängt und gibt damit eine wesentliche Ertragsteigerung der deutschen Landwirtschaft. Aber erst im zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts ist diese Entwicklung so weit gediehen, daß Kartoffel- und Rübenbau sich überall durchgesetzt haben. Noch 1860 betrug der Kartoffel- und Rübenbau der mecklenburgischen Landwirtschaft nur 5% der Gesamtackerfläche, während er heute 20 bis 25% ausmacht. Die Entwicklung der heutigen Fruchtfolge und die Steigerung der Bodennutzung sind also noch sehr jung.

Mit der Intensivierung der Bodennutzung wuchs naturgemäß auch der Arbeitsbedarf der bäuerlichen Wirtschaft. Im Jahre 1830 erforderte der Arbeitsaufwand für 1 ha bis zur Ernte 50 Personen- und 80 Pferdestunden und heute 110 Personen- und 130 Pferdestunden. Durch diese Erhöhung des Arbeitsaufwandes ist die Bedeutung der technischen Hilfsmittel in der Landwirtschaft stark gestiegen. Die Steigerung des

Arbeitsaufwandes verteilt sich nicht gleichmäßig über das ganze Jahr, sondern ballt sich zu gewissen Zeiten zusammen. In der Mehrzahl der Betriebe verläuft die Linie des Arbeitsbedarfes so, daß sie im Winter sehr flach ist, mit der Frühjahrsbestellung ansteigt, um bald wieder abzusinken. Mit der Heuernte aber steigt sie abermals an, erhöht sich in der Getreideernte und nimmt mit der Hackfruchternte und Herbstbestellung die größte Höhe ein, um dann schnell wieder auf den winterlichen Tiefpunkt abzusinken. Dieser unterschiedliche Arbeitsbedarf stellte schon sehr bald die Bedeutung der landwirtschaftlichen Maschinen darauf ab, durch die Anwendung von technischen Hilfsmitteln die Höchstspitzen dieser Linie des Arbeitsbedarfes zu verringern. Wenn die Betriebe den vollen Besatz an menschlichen und tierischen Arbeitskräften hielten, den die Arbeitsspitzen vorschreiben, dann würde in den arbeitsarmen Zeiten für diese Arbeitskräfte keine sinnvolle Arbeit vorhanden sein, die Arbeitskräfte könnten also einen erheblichen Teil des Jahres nicht wertvoll eingesetzt werden. Eine besonders hohe Arbeitsspitze für den menschlichen Arbeitsbedarf bildet die Getreideernte. Der Schnitter mit der Sense leistet bei zehnstündiger Arbeit 0,4 ha, also noch nicht 2 Morgen. Der Getreidebau Deutschlands beträgt rund 10 Millionen ha, die mit der Sense zu mähen 25 Millionen Arbeitstage erfordern würden. Ebensoviel Frauen- und Mädchenarbeitstage wären notwendig, um hinter den Schnittern das Getreide zu binden. 25 Millionen Schnitterarbeitstage und 25 Millionen Binderinnenarbeitstage müßten in der Ernte, also in etwa zwei Monaten, geleistet werden. Bei dieser starken Zusammenballung des menschlichen Arbeitsbedarfes in der Getreideernte wurde bald die Forderung nach einer Getreideerntemaschine laut. Sie wurde von der Industrie erfüllt, und heute laufen fast 170 000 Mähbinder in der deutschen Landwirtschaft. Mit dieser Maschine aber mäht und bindet e i n Mann mit drei Pferden in einem zehnstündigen Arbeitstag 5 bis 7 ha Getreideland. Ohne den Mähbinder wäre der starke Getreidebau in Deutschland gar nicht durchführbar. Andere landwirtschaftliche Maschinen haben eine ganz ähnliche Entwicklung genommen.

Die einzelnen Maschinen kamen anfangs als große, schwere, in Anschaffung und Betrieb teure Maschinen auf den Markt. Sie waren deshalb zu Beginn ihrer Entwicklung nur für die großen Betriebe anwendbar. Allmählich aber wurden die Maschinen immer kleiner, leichter, in Anschaffung und Betrieb billiger und paßten sich mehr und mehr in ihren Leistungen den Forderungen der mittleren und kleineren Betriebe an. So ist die Entwicklung der Mähmaschine, der Dreschmaschine, des Schleppers und anderer Maschinen ähnlich der Entwicklung des Kraftwagens, der sich ebenfalls von dem in der An-



Abb. 2. Kartoffelroder

schaffung und im Betriebe teuren Wagen zum Volkswagen hin entwickelt hat, der bei niedrigem Preis noch außerordentlich leistungsfähig ist.

Diese Entwicklung hat dahin geführt, daß immer kleinere Betriebe sich noch mit wirtschaftlichem Erfolg der verschiedenen Maschinen bedienen konnten. Mit der Anwendungsmöglichkeit in kleineren Betrieben wächst aber der Wirkungsbereich der Maschinen ganz außerordentlich. Die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe über 200 ha Größe beträgt nur 17 200 mit 3 940 000 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche, die Zahl der Betriebe mit 100 bis 200 ha Größe beträgt 16 500 mit 1 371 000 ha. Dagegen haben wir in Deutschland 54 500 Betriebe zwischen 50 und 100 ha Größe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 2 572 000 ha, 267 000 Betriebe zwischen 20 und 50 ha Größe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 6 275 000 ha, 450 500 Betriebe zwischen 10 und 20 ha Größe mit einer Fläche von 5 337 000 ha, 619 200 Betriebe zwischen 5 und 10 ha Größe mit einer Gesamtfläche von 3 889 000 ha und 787 700 Betriebe zwischen 2 und 5 ha Größe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 2 376 000 ha. Die kleineren Betriebe sind also nicht nur zahlenmäßig den großen Betrieben überlegen, sondern sie bewirtschaften auch den Großteil des deutschen Bodens. Damit wächst der Abnehmerkreis der landwirtschaftlichen Maschinen mit ihrer Einsatzmöglichkeit in kleinere Betriebe ganz außerordentlich, und der Maschinenbesatz ist

in den letzten 30 Jahren stark gestiegen. So hat sich die Zahl der Sämaschinen in Deutschland seit 1907 mehr als verdreifacht, die Zahl der Mähmaschinen fast verfünffacht. Das landwirtschaftliche Maschinenkapital hat sich also stark vergrößert. Es wird heute auf 8 Milliarden RM geschätzt, deren Erhaltung allein bei 5% Abschreibung jährlich 400 Millionen RM ausmachen, ohne daß Neueinstellungen mit eingerechnet sind. Volkswirtschaftlich spielt also die Landmaschinenindustrie im Rahmen der Gesamtwirtschaft eine wesentliche Rolle. Diese Bedeutung der Landmaschinenindustrie ist noch im Steigen, da durch die Verringerung der Ausfuhrmöglichkeiten die Steigerung der Erträge der deutschen landwirtschaftlichen Nutzflächen die dringendste Aufgabe der deutschen Volkswirtschaft ist. Ohne die Anwendung und ohne den erhöhten Einsatz von technischen Hilfsmitteln in der landwirtschaftlichen Erzeugung ist aber eine Steigerung der Flächenerträge nicht durchführbar.

Bedeutung der Landwirtschaftstechnik

Mit der Intensivierung der Landwirtschaft, mit dem Streben nach vielseitigerer und gesteigerter Erzeugung durch ausreichende Düngung und bessere Pflege der Nutzpflanzen sind die Anforderungen an die landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte gewachsen. Die landwirtschaftlichen Wissenschaften zeigen immer neue Wege, die durch Verbesserung der Bodenbearbeitung, durch bessere Düngung und Saatenpflege, durch Verringerung der Ernteverluste und Veredlung der Ernten zu höheren Erträgen und gesteigerter Nutzung des Bodens führen. Die Landtechnik hat die Aufgabe zu erfüllen, die für diese Maßnahmen erforderlichen Maschinen und Geräte zu entwickeln und zu bauen und sie der Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen.

In der letzten Zeit ist eine wesentliche Entwicklung der ältesten landwirtschaftlichen Geräte erfolgt. P f l u g und E g g e haben in den letzten Jahren ganz erhebliche Verbesserungen erfahren. Die Entwicklung dieser Geräte wurde gefördert durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse, die den Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Verbesserung der Bodenstruktur klarstellten. Die Bodenbearbeitung verändert die physikalische Struktur des Bodens, sie verändert also die Raumverteilung von Luft, Wasser und Bodensubstanz. Durch diese wieder werden Wasserhaushalt, Durchlüftbarkeit und Erwärmungsbedingungen des Bodens verändert. Wasser, Luft und Wärme sind aber neben der Düngung die Grundlagen, von denen die Wachstumsfähigkeit und damit die Ertragshöhe abhängen. Nachdem die Wissenschaft ein Verfahren herausgearbeitet hatte, um den Erfolg der Bodenbearbeitung zu messen, schuf die Landmaschinenindustrie n e u e P f l u g f o r m e n, die den besten Erfolg der Bodenbearbeitung erreichen

lassen. Nachdem die Bedeutung der Untergrundbearbeitung erkannt worden ist, baute die Industrie geeignete Geräte, deren Arbeitsweise den „toten" Boden des Untergrundes nicht nach oben bringt und damit die Ackerkrume verdirbt. Eingehende Versuche mit diesen neuen Geräten haben bereits ergeben, daß durch ihre richtige Anwendung die Erträge ohne einen wesentlich erhöhten Arbeitsaufwand um 10 und 20% gesteigert werden können. Fast die Hälfte aller Ackerböden in Deutschland besteht aber aus untergrundlockerungsbedürftigen Böden. Die Größenordnungen, um die es bei diesen Maßnahmen geht, sind sehr hoch; denn die Steigerung der Erträge der Hälfte des deutschen Getreidelandes um 10% ergibt eine Erhöhung der Getreideernte um 1 Million t, und die Ertragsteigerung der Hälfte des deutschen Kartoffellandes um 10% ergibt eine Steigerung der Kartoffelernte um 2,2 Millionen t Kartoffeln. Nun haben wir aber in Deutschland einen Überschuß an Roggen und Kartoffeln, so daß eine Steigerung der Erträge dieser Früchte nicht wünschenswert erscheinen kann. Wohl aber ist es volkswirtschaftlich sinnvoll, die notwendigen Bedarfsmengen an Getreide und Kartoffeln auf einer kleineren Fläche zu erzeugen, um so Land frei zu bekommen für den Anbau der Stoffe, die bis jetzt aus dem Ausland beschafft werden müssen. Das sind besonders die pflanzlichen Öle und Faserstoffe. Wenn es allmählich gelingt, auf kleineren Flächen den deutschen Bedarf an Getreide und Kartoffeln zu erzeugen, dann wird der Anbau von Raps, Rüben, Hanf und Flachs gesteigert werden können, um einen weiteren Schritt zur Bedarfsdeckung des deutschen Volkes von eigener Scholle vorwärtszukommen.

Ebenso wie der Pflug hat die Egge in den letzten Jahren eine wesentliche Verbesserung erfahren. Die Zinken der Egge werden nicht mehr an die alten starren Eggenfelder angeschraubt, sondern die Eggenfelder werden aus einem Drahtgeflecht hergestellt, das sich biegsam und schmiegsam allen Unebenheiten des Ackers anpaßt. Durch diese Verbesserung wird die Arbeit der Egge in bezug auf die Krümelung der Oberschicht des Ackerbodens und in bezug auf die Unkrautvernichtung wesentlich wirkungsvoller, so daß sie auf die Steigerung der Erträge einen günstigen Einfluß hat. Vor allem wird in vielen Fällen durch die Anwendung dieser Netzegge die Anwendung der kostspieligeren und zeitraubenderen Hackmaschine ersetzt, so daß die Getreidepflegemaßnahmen vereinfacht und verbilligt werden.

Einen besonders starken Einfluß auf die Ertragsteigerung hat die Anwendung der Drillmaschine ausgeübt. Sie erspart einmal je ha Getreideland 80 kg Saatgut, also auf 10 Millionen ha Land 800 000 t Saat. Außerdem schafft sie für das Auflaufen der Getreidekörner sehr viel bessere Vorbedingungen als die Handsaat, weil die

Körner in die für die Keimung beste Bodentiefe gelangen und dadurch das bessere Gedeihen der jungen Pflanzen gesichert wird. So hat die Drillmaschine an der Verdreifachung der Getreideerträge in den letzten hundert Jahren ihren vollen Anteil. Gegenüber diesen Vorzügen erscheint die Zahl der in der deutschen Landwirtschaft benutzten 668 000 Drillmaschinen noch verhältnismäßig klein. Die niedrige Zahl aber findet darin ihre Erklärung, daß in vielen Gebieten Süd- und Westdeutschlands durch die Feldzersplitterung die einzelnen Ackerschläge so klein geworden sind, daß sie die Anwendung einer Drillmaschine nicht gestatten. Gibt es doch in Württemberg und dem Rheinland Betriebe von 7,5 ha Gesamtgröße, deren Flur sich auf 35 bis 45 Parzellen verteilt. Es sind sogar Betriebe von 22 ha Gesamtgröße mit 180 Parzellen und solche von 5 ha mit 40 Parzellen festgestellt worden, in solchen zersplitterten Betrieben sinkt die Größe eines Ackerstückes auf 12 a und noch weniger herab. So sind also die Bestrebungen der Feldbereinigung auch für die Anwendung von landwirtschaftlichen Maschinen von großem Wert.

Von besonderer Bedeutung ist die Drillmaschine für den deutschen Rübenbau geworden. Ohne sie hätten Zuckerrüben- und Futterrübenbau nicht den Aufschwung nehmen können, den sie in den letzten 60 Jahren genommen haben. Deutschland war vor dem Kriege ein Zucker ausführendes Land. Nach dem Kriege ging die Ausfuhr mit der Steigerung und Verbilligung der Rohrzuckererzeugung in den Tropen stark zurück, so daß der Zuckerrübenbau eingeschränkt werden mußte. Da aber beim Rübenbau neben dem Zucker als Abfallerzeugnisse Futtermittel gewonnen werden in einer Menge, die den Erträgen derselben Grünlandfläche entspricht, und da darüber hinaus der Zuckerrübenbau auf die nachfolgenden Früchte ertragsteigernd wirkt, ist seine Einschränkung für den Ertrag der Landwirtschaft nachteilig. Aus diesem Grunde sind die Anbauflächen jetzt wieder erhöht worden, und es wird darauf hingewirkt, den Zuckerrübenbau über den Zuckerbedarf hinaus als Futterlieferant für die Rindviehbestände zu erhöhen.

Die S a a t g u t r e i n i g u n g s m a s c h i n e hat in den letzten Jahren eine besonders glückliche Entwicklung durchgemacht. Noch vor zehn Jahren war diese Maschine so teuer und schwerfällig, daß sie nur in den großen Saatgutwirtschaften angewendet werden konnte. Sie ist in den letzten Jahren immer kleiner, einfacher und billiger geworden, so daß sie jetzt preismäßig in den mittleren Betriebsgrößen durchaus anwendbar ist. Daneben ist sie in den kleinen Betrieben in großem Umfange als Genossenschaftsmaschine eingeführt worden. Ihr Wert liegt darin, daß sie aus dem Saatgut die besten und keimkräftigsten Körner aussondert, so daß jedes Korn die besten erbbio-

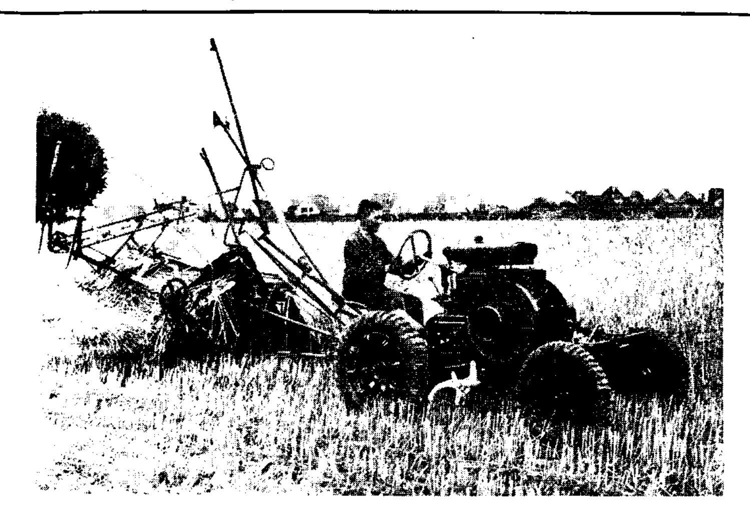


Abb. 3. Luftbereifter Schlepper mit Bindemäher

logischen Voraussetzungen für kräftiges Wachstum enthält und damit größere Erträge sichert. Außerdem werden alle minderwertigen Körner, die auf dem Acker nur verfault wären oder nur schwache Pflanzen hätten entwickeln können, ausgeschieden und für die Verfütterung frei. Durch die Aussonderung der besten Körner für die Saat wird die Aussaatmenge je Flächeneinheit weiterhin verringert, und es werden damit weitere größere Mengen von Korn für die menschliche Ernährung gewonnen. Aus diesem Grunde ist die Einführung der Saatgutreinigungsmaschine vom Reichsnährstand und seinen Organisationen in großem Umfang gefördert worden. Zugleich mit der Saatgutreinigung wird das Beizen des Saatgutes durchgeführt. Es hat den Zweck, Krankheitserreger an den Saatkörnern abzutöten und dadurch Verluste zu verhüten. Die Industrie hat für das Beizen Chemikalien zur Verfügung gestellt, die die Krankheitserreger abtöten, ohne die Keimkraft der Körner zu schädigen. Die Maschinenindustrie hat Beiztrommeln gebaut, die die einfache und sichere Ausführung der Naß- und Trockenbeize gestatten.

Mit der guten Sortierung und Beizung des Saatgutes ist aber die Ernte noch nicht gesichert. Auch während des Wachstums der Pflanzen werden sie von Schädlingen bedroht, deren Bekämpfung der Bauer übernehmen muß. Da ist einmal das besonders starke Auftreten von Unkräutern wie Hederich, das nur durch chemische Mittel zu bekämpfen ist. Es werden chemische Stoffe ausgespritzt oder in feiner Pulverform ausgestreut, um diese Unkräuter zu vernichten. Die

geeigneten Flüssigkeiten und Feinpulver sowie die geeigneten Geräte für ihre Verstäubung sind von der Industrie hergestellt und der Landwirtschaft angeboten worden. Aber auch Pilzkrankheiten müssen durch Bespritzen der Pflanzen verhütet werden. So wird die Phytophthora der Kartoffel durch Ausspritzen von Kupferkalkbrühe vernichtet. Eine besondere Gefahr für den Kartoffelbau rückt jetzt mit dem Koloradokäfer immer näher. Er ist aus Amerika in Frankreich eingeschleppt worden und breitet sich dort immer weiter aus. Jedes Jahr kommt er der deutschen Grenze näher, und die Gefahr ist außerordentlich groß, daß er in Deutschland eingeschleppt wird. Zwar ist die Bekämpfung der Koloradokäfer von Amerika her bekannt, aber das häufige Bespritzen der Kartoffelfelder muß den Anbau stark verteuern, so daß der Kartoffelbau durch diesen Schädling schwer geschädigt werden würde. Der Reichsnährstand hat daher schon eine ganze Reihe von Maßnahmen vorgesehen, um die Verbreitung des Koloradokäfers in Deutschland zu verhindern. Im Obstbau spielt die Bekämpfung der Schädlinge durch Spritzen eine sehr viel größere Rolle als im Ackerbau. Ohne mehrmaliges Spritzen in jedem Jahr würde der Obstbau nur einen Bruchteil des Obstes erzeugen können, das er jetzt auf den Markt bringt.

In den meisten landwirtschaftlichen Betrieben Deutschlands ist die Getreideernte eine besonders hervortretende Arbeitsspitze, werden doch 60% der deutschen Ackerfläche mit Getreide bestellt. So war es besonders dringlich, diese Arbeitsspitze durch den Einsatz von geeigneten Maschinen zu verringern. Die ersten Mähmaschinen wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika entwickelt und gebaut, wo bei der Menschenarmut des flachen Landes der Getreidebau an dem Mangel an Arbeitskräften für die Ernte scheiterte. Durch die Einführung eines Getreidemähers wurde der Getreidebau in den Prärien Nordamerikas stark ausgeweitet. Diese Maschine leitete die Bewegung ein, die dann durch den Mähdrescher weitergeführt wurde, daß das Getreide Nordamerikas die Welt überflutete und den Getreidebau der bäuerlichen Wirtschaften Deutschlands unwirtschaftlich machte, bis ein hoher Zoll die deutschen Bauern schützte. In Deutschland wurde die Getreidemähmaschine von Amerika übernommen. Im Anfang war es der Getreideableger, der zuerst angewendet wurde. Er schneidet das Getreide und legt es in Garbenform ab. Hinter der Maschine mußten die Garben von Menschenhänden dann gebunden werden. Erst mit Beginn des neuen Jahrhunderts führte sich ganz allmählich der Getreidebinder ein, der die Garben gebunden ablegt, so daß menschliche Arbeit noch weiter eingespart werden konnte. Wenn auch der Bau dieser Maschinen von deutschen Fabriken sehr bald aufgenommen wurde, so wurden die amerikanischen Maschi-

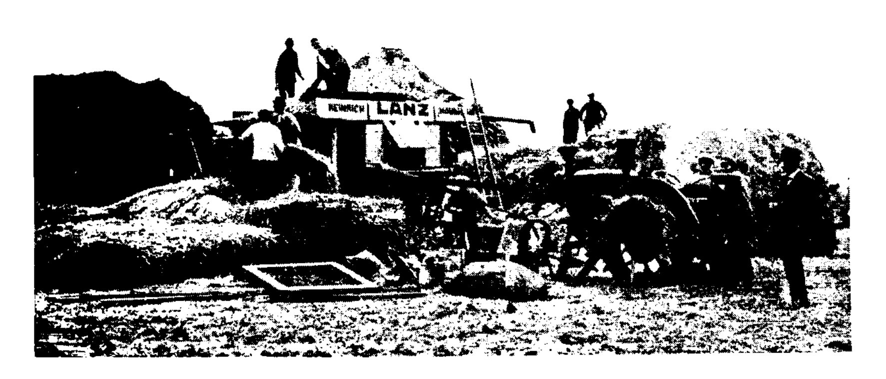


Abb. 4. Dreschmaschine, durch Schleppermotor angetrieben

nen noch bis in die Nachkriegszeit hinein von der deutschen Landwirtschaft bevorzugt. In dem letzten Jahrzehnt ist es aber der deutschen Landmaschinenindustrie durch eifrigste Arbeit gelungen, nicht nur die Güte der amerikanischen Maschinen zu erreichen, sondern sie noch zu übertreffen. Durch Verwendung besten Werkstoffes ist die Arbeit und Haltbarkeit der Mähmaschinen ganz außerordentlich verbessert. Gerade in der allerletzten Zeit ist die Entwicklung wieder einen großen Schritt dadurch vorwärts gekommen, daß der Zweipferdebinder hergestellt wird. Bis jetzt war der Zugkraftbedarf des Binders so groß, daß er nur von drei Pferden in Dauerabeit bewältigt werden konnte. Dadurch wurde die Anwendung des Binders für die 485 000 Betriebe erschwert oder unmöglich gemacht, die nur über ein Gespann, also über nur zwei Pferde verfügen. Da jetzt durch die Anwendung von Luftgummireifen und von Leichtmetall der Zugkraftbedarf des Binders so stark herabgesetzt ist, daß er auch in Dauerarbeit von 2 Pferden bewältigt werden kann, wird diese Maschine auch in den kleinbäuerlichen Betrieben in den nächsten Jahren starke Anwendung finden.

Die Anwendung des Mähbinders ist aber nicht nur arbeitstechnisch und betriebswirtschaftlich wertvoll für die Landwirtschaft. Sie hat auch auf die Verringerung der Ernteverluste einen großen Einfluß und ist damit auch volkswirtschaftlich von großem Nutzen. Die Verluste durch ausfallende Körner müssen bei der Sensenmahd mit durchschnittlich 6% des Ertrags angenommen werden, wie zahlreiche Untersuchungen des Reichskuratoriums für Technik in der

Landwirtschaft bewiesen haben. Durch die Anwendung des Getreideablegers werden die Körnerausfallverluste auf 5% gesenkt, während sie durch die Anwendung des Mähbinders auf nur 1,5% des Ertrages kommen. Das heißt: Bei der Sensenmahd würden durch Ausfallverluste 120 kg Getreide je ha verloren gehen, bei der Anwendung des Ablegers 100 kg und bei der des Binders nur 30 kg. Bei einer Fläche von 10 Millionen ha Getreideland werden also durch Anwendung des Binders gegenüber der Sensenmahd 900 000 t Getreide vor dem Verlust gerettet und für die Ernährung erhalten. Aus diesem Grunde ist es wichtig, daß Getreidebinder gebaut werden, die auch in den kleineren bäuerlichen Wirtschaften betriebswirtschaftlich eingesetzt werden können. Von diesem Gesichtswinkel aus ist die Entwicklung eines „Zweipferdebinders" volkswirtschaftlich von großer Bedeutung.

Hat so das luftgummibereifte Rad am Binder schon seine großen Vorteile gezeigt, so ist sein Wert für das landwirtschaftliche Förderwesen noch sehr viel größer. Das Luftgummirad ist der größte Fortschritt, den das uralte eisenbeschlagene Holzrad gewonnen hat, denn durch seine Verwendung wird der Zugkraftbedarf des Ackerwagens um ein Drittel bis um die Hälfte vermindert. Die Landwirtschaft ist aber ein Transportgewerbe wider Willen. Es ist berechnet, daß sie je ha Ackerland 20 t vom und zum Acker zu fördern hat. Daher machen die Förderarbeiten in der Landwirtschaft einen sehr hohen Anteil der Zugarbeit aus und ergeben bei Verringerung des Zugkraftbedarfes durch die Anwendung des Luftgummirades die Möglichkeit, den Zugviehbesatz zu verringern. Für die Zugkuhwirtschaften bedeutet die Verringerung des Fahrwiderstandes die Schonung der Kühe und Steigerung ihrer Milchleistung, die im Hinblick auf die Milch- und Buttererzeugung von größter Wichtigkeit ist. Für die Pferdebetriebe kann aber die Verringerung des Fahrwiderstandes des Förderwesens zu einer Verringerung der Pferdezahl führen. Da jedes Pferd für seine Ernährung rund 1 ha Acker- und Wiesenland benötigt, wird also mit der Abschaffung eines Pferdes 1 ha für die Erzeugung menschlicher Bedarfsgüter frei. In der deutschen Landwirtschaft werden 3¼ Millionen Pferde gehalten. Voll ausgenutzte Pferde mit 250 und mehr Arbeitstagen je Jahr sind die billigste Zugkraft des Bauern. Dagegen sind schlecht ausgenützte Pferde mit nur 100 oder 150 Arbeitstagen je Jahr teuer; denn Pferde fressen bei der Arbeit nicht wesentlich mehr als bei Stallruhe. Wenn es also gelingt, durch die Anwendung des Luftgummirades den Zugkraftbedarf für das landwirtschaftliche Förderwesen wesentlich zu verringern, dann werden eine Anzahl schlecht ausgenützter Pferde abgeschafft werden können, ohne daß der Betrieb einen Mangel an Zugtieren aufweist und wichtige Arbeiten nicht rechtzeitig durchgeführt werden. So kann das Luft-

gummirad wesentlich dazu beitragen, die Anbauflächen für die menschliche Ernährung zu vergrößern und uns von der Abhängigkeit vom Ausland noch weiterhin zu befreien.

Bei dem Dreschmaschinenbau ist in den letzten Jahren besonders augenfällig die Entwicklung von der großen Maschine zur kleinen, billigen und trotzdem leistungsfähigen Bauernmaschine vor sich gegangen. Noch vor 5 Jahren mußten für eine Dreschmaschine 1500 und 2000 RM angelegt werden, während jetzt kleine Dreschmaschinen bereits für 500 und 600 RM auf dem Markt sind, Dreschmaschinen, die in ihren Leistungen dem bäuerlichen Betriebe angepaßt sind und trotz des geringen Preises gute Arbeit leisten und haltbar und dauerhaft sind. Die Vorteile der Dreschmaschine sind so groß, daß der Flegeldrusch in Deutschland, außer in einigen wenigen Betrieben in den allerärmsten Gegenden, völlig verschwunden ist. Die Leistung eines Mannes mit dem Flegel beträgt in 10 Stunden ungefähr 100 kg Körner, während die kleine Bauerndreschmaschine mit drei Menschen Bedienung 2000 bis 2500 kg in derselben Zeit nicht nur ausdrischt, sondern auch reinigt. Die Unterschiede sind so groß und die Arbeit des Flegeldrusches so schwer, daß sich die Dreschmaschine schnell eingeführt hat und etwa 1,2 Millionen Stück in der Landwirtschaft arbeiten. Trotz dieser starken Anwendung ist aber die Entwicklung der kleinen, billigen Bauerndreschmaschinen deswegen von Bedeutung, weil jetzt noch viele größere Maschinen als Genossenschafts- und Unternehmermaschinen arbeiten. Das hat für die kleinen Betriebe insofern Nachteile, als sie einmal die Zeit des Drusches nicht selbst bestimmen können und weil sie mit den größeren Maschinen dreschen müssen, die sie mit ihrem eigenen Besatz an menschlichen Arbeitskräften nicht bedienen können. Es müssen für diese Zeit also fremde Arbeitskräfte angenommen werden, wodurch sich der Drusch verteuert und eine Belastung für die bäuerliche Familienwirtschaft darstellt. Mit der eigenen Dreschmaschine dagegen sind die kleinbäuerlichen Wirtschaften in der Lage, den Drusch in die Zeit zu verlegen, da keine wichtigen Feld- und Hofarbeiten vorliegen und sind unabhängig von fremden Arbeitskräften. Neben dieser Zweckbestimmung der kleinbäuerlichen Dreschmaschinen haben natürlich die bekannten größeren Dreschmaschinen für die größeren und großen Betriebe nach wie vor ihre Bedeutung.

Die jüngste landwirtschaftliche Maschine ist der Ackerschlepper. Er ist in seiner jetzigen Form ein Erfolg der Entwicklung der Nachkriegszeit. Während des Krieges hatten andere Völker, die durch den Krieg weniger in Mitleidenschaft gezogen waren, den Schlepper zu hoher Vollkommenheit gebracht. Dadurch war der deutsche Schlepperbau naturgemäß zurückgeblieben, und noch Jahre

nach dem Kriege wurden von der deutschen Landwirtschaft amerikanische Schlepper den deutschen vorgezogen. In zehnjähriger Arbeit ist es aber der deutschen Industrie gelungen, nicht nur den ausländischen Schlepperbau einzuholen, sondern ihn sogar zu überflügeln. Es wird jetzt auch im Ausland anerkannt, daß deutsche Schlepper in bezug auf Betriebskosten und Lebensdauer an erster Stelle stehen. Durch die Verwendung besonders veredelter Werkstoffe ist die Lebensdauer der deutschen Schlepper von 5000 Betriebsstunden bis auf 15 000 Betriebsstunden heraufgesetzt worden, ohne daß die Instandhaltungskosten die wirtschaftlichen Grenzen überschreiten. So ist es erklärlich, daß die Anwendung des Schleppers in der Landwirtschaft dauernd zunimmt und seine Zahl jetzt mit 25 000 Stück angenommen wird. Die starke Zunahme des Schleppers erklärt sich aus der Tatsache, daß er eben nicht nur Arbeitsspitzenbrecher ist, sondern auch eine billigere und schnellere Bestellung sowie eine bessere und gründlichere Ackerpflege mit höheren Hektar-Erträgen durchzuführen gestattet.

Durch die Verwendung der Luftgummiräder ist der Wirkungsbereich der Schlepper wesentlich erweitert worden. Diente er früher nur für die Ackerarbeiten und den Antrieb der Dreschmaschine, so kann er jetzt auf Luftgummirädern auch einen Teil der Förderung übernehmen. Der Luftgummischlepper ist sogar in der Lage, in Verbindung mit dem luftgummibereiften Plattform-Ackerwagen die Erntebergung zu übernehmen, die vordem mit dem alten Leiter-Erntewagen die Mindestzahl der notwendigen Zugpferde bestimmte. Unter voller Ausnutzung dieser technischen Hilfsmittel ist es einem besonders gut geleiteten Betrieb von 420 ha Größe gelungen, seinen Zugviehbestand von 24 Zugochsen und 32 Pferden auf drei luftgummibereifte Ackerschlepper und 8 Pferde herabzusenken. Das bedeutet praktisch in diesem einen Betrieb die Vergrößerung der Fläche für die Erzeugung menschlicher Nahrungsmittel um 35 ha. Die Entwicklung des Zugkraftbesatzes dieses besonders fortschrittlichen Betriebes zeigt, wie groß die Möglichkeiten der Einsparungen von Ackerland in der deutschen Landwirtschaft noch sind. Diese Entwicklung wird dadurch gekennzeichnet, daß früher eine Arbeitsstundenzahl von 1000 je Schlepper und Jahr als hoch galt, während jetzt im Durchschnitt die Schlepper 2000 und 2500 Arbeitsstunden je Jahr in der Landwirtschaft tätig sind. Das ergibt eine Umlage von Verzinsung und Abschreibung auf eine sehr viel höhere Zahl von Arbeitsstunden und dadurch eine Verbilligung der Schlepperarbeit.

In besonders schnellem Fluß ist jetzt die Entwicklung des Kleinschleppers für bäuerliche Wirtschaften. Er wird von vornherein als Luftgummischlepper gebaut, so daß er neben der Ackerarbeit und



Abb. 5. Feldberegnungsanlage

dem Antrieb von Dreschmaschinen auch zu den Förderarbeiten herangezogen werden kann, außerdem dient er mit dem Anbau-Mähbalken zum Schneiden der Wiesen. Vielseitige Verwendbarkeit des Schleppers ist ja gerade für den Kleinbetrieb die wichtigste Forderung. Dieser kleine, straßengängige Schlepper findet in den kleinbäuerlichen Wirtschaften Süddeutschlands starken Eingang, wo er besonders zur Entlastung der Zugkühe beitragen soll. An sich sind die Zugkühe die billigsten Zugkräfte des Bauern. Sie liefern bei der Arbeit natürlich weniger Milch als bei reiner Stall- oder Weidehaltung. Die Durchschnittsleistung der kontrollierten Milchkühe betrug im Jahre 1934 3509 Liter, die der nicht kontrollierten Kühe 2379 Liter, dagegen wiesen die kontrollierten Zugkühe eine Durchschnittsleistung von 2566 Liter und die nicht kontrollierten Zugkühe eine solche von 1700 Liter auf. Der Unterschied der Milchleistung durch die Zugarbeit beträgt also 680 bis 950 Liter je Jahr, bei 17 Pfennig je Liter also 115 bis 160 RM. Es ist unmöglich, daß der Schlepper gegen diese billige Zugkraftleistung in Wettbewerb treten kann. Wenn trotzdem die Bauern Süddeutschlands den Schlepper in so starkem Maße einführen, so ist das der Beweis dafür, daß sie durch die Schlepperanwendung ihre Betriebe leistungsfähiger gestalten wollen, denn die Kuhanspannung schreibt durch ihre Gangart das Zeitmaß des ganzen Betriebes vor. Da die Bauern aber das Tempo ihrer Wirtschaften beschleunigen wollen, erscheint ihnen die Einstellung eines Kleinschleppers richtiger als die Einstellung von Pferden, die ihnen einen Teil ihrer geringen

Flächen für den Anbau von Pferdefutter wegnehmen würden. Im Sinne der Erzeugungsschlacht ist also die starke Anwendung des Kleinschleppers in den bäuerlichen Wirtschaften zu begrüßen.

Eines der wichtigsten technischen Mittel zur Ertragsteigerung der Landwirtschaft ist die Feldberegnung. Die technischen Geräte dafür sind von der deutschen Landmaschinenindustrie in solcher Güte und mit so hohen Leistungen gebaut worden, daß sich die Landwirtschaft ihrer in großem Umfange bedienen kann. Die Geräte für die Feldberegnung der deutschen Landmaschinenindustrie sind auf der ganzen Welt als die besten und technisch vollkommensten anerkannt. Sie werden in Deutschland zur Beregnung von Weiden und Wiesen in größerem Umfange angewendet, da es sich hier um regelmäßige größere Wassergaben handelt. Für die Ackerberegnung liegen aber die Verhältnisse insofern anders, als die künstliche Beregnung hier die Aufgabe hat, natürliche Trockenzeiten zu überwinden, ohne daß bei den Pflanzen Wachstumstörungen auftreten. Das Getreide hat zur Zeit des Schossens den höchsten Wasserbedarf. In sehr vielen Gegenden Deutschlands ist aber diese Zeit — Mai und Juni — regenarm, so daß den Pflanzen die notwendigen Wassermengen von der Natur nicht geboten werden. Hier hat die künstliche Beregnung einzusetzen, die oft nur mit sehr geringen Wassergaben die fehlenden Feuchtigkeitsmengen zu liefern hat und dadurch zu wesentlichen Ertragsteigerungen führen kann. Die Feldberegnung steht in Deutschland noch im Beginn ihrer Entwicklung. Es ist aber mit Sicherheit zu erwarten, daß sie noch eine große Zukunft hat und zu der Ernährung des deutschen Volkes von deutscher Scholle ganz wesentlich beitragen wird.

Eine ganz besondere Aufgabe hat die Feldberegnung für die Abwasserverwertung der Städte. Das Abwasser wird jetzt ungenützt und mit großen Unkosten geklärt und den Wasserläufen zugeleitet. Alle wertvollen Dungstoffe des Abwassers gehen also verloren. Durch die Feldberegnung können aber diese wertvollen Dungstoffe, Stickstoff, Phosphorsäure und Kali zur Ertragsteigerung großer landwirtschaftlich genutzter Flächen verwendet werden. Die ersten großen Versuche in diese Richtung werden schon durchgeführt, und es ist zu erwarten, daß die Abwasserverregnung eine große Bedeutung gewinnen wird.

Landtechnik und Landflucht

Die Landmaschine in ihren verschiedenen Formen hat über die wirtschaftliche Bedeutung hinaus eine bevölkerungspolitische Seite. Das Leben auf dem Lande ist hart und schwer. Besonders die Bäuerinnen sind mit Arbeit überlastet, so daß sie mit 40 Jahren verarbeitet und alt sind. Die Söhne und Töchter sehen das schwere Leben ihrer Eltern und vergleichen es mit dem scheinbar leichteren und schöneren

Leben in den Städten. Dadurch wird schon in der Jugend der Wunsch groß gezogen, von der Scholle weg in das schönere und reichere Leben der Städte zu ziehen. Die Überarbeitung des Bauern und besonders der Bäuerin und ihr Einfluß auf das heranwachsende Geschlecht sind die tiefsten Ursachen der Landflucht. Diese Ursachen können aber nur beseitigt werden, wenn die Landtechnik mehr als bisher zur Erleichterung der Arbeit des Bauern und besonders der Bäuerin herangezogen wird, wenn sie hilft, aus dem 14- und 16-Stundentag besonders der Bäuerin einen normalen Arbeitstag zu machen. In dieser Richtung gehen jetzt die Bestrebungen, auf dem Lande die elektrische Kraft stärker als bisher einzuführen. Schon eine ganze Anzahl bäuerlicher Wirtschaften ist zum elektrischen Kartoffeldämpfen und elektrischen Kochen übergegangen. Das ist teurer als das Kochen und Dämpfen mit Kohlen und Holz, aber es entlastet die Bäuerin um einige Stunden je Tag und gibt ihr Zeit, mehr ihren Pflichten als Mutter gerecht zu werden, als es jetzt ihre Überlastung zugelassen hat. Daher ist die elektrische Kraft in der bäuerlichen Wirtschaft kein Luxus, sie befreit von primitiver Arbeit und gibt die Zeit für höherwertige Arbeit frei.

Damit stellt sich die Landtechnik als eine Einrichtung heraus, die die Gegensätze zwischen Stadt und Land zu überbrücken in der Lage ist. Sie nimmt dem bäuerlichen Leben die Überfülle an körperlicher Arbeit, erzieht die bäuerlichen Menschen zum stärkeren Einsatz ihres technischen, das heißt geistigen Könnens und formt damit den Bauern von einem körperlichen Arbeiter zu einem mehr geistigen Arbeiter um. Damit erfüllt die Landtechnik eine große bevölkerungspolitische Aufgabe, zu deren wirtschaftlicher Voraussetzung die marktpolitische Tätigkeit des Reichsnährstandes die Grundlagen gibt.




Stadt-
Bibliothek
Elbing



Friedrich der Große,

geb. 24. Januar 1712
gest. 17. August 1786

Friedrich der Große
in seiner Friedensarbeit

. Aus Anlaß des 150. Todestages am 17. August 1936

Von *Conrad Matschoß VDI,* Berlin

In dem Ruhmestempel deutscher Technik, dem Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik in München, im Deutschen Museum, steht in der Reihe der großen deutschen Vertreter der Naturwissenschaft und Technik eingereiht das Bild Friedrichs des Großen. Es trägt die Unterschrift:

„Ebenso bewunderungswürdig in nie ermattender Friedensarbeit wie in unbesieglicher Heldenhaftigkeit. Weite Ödstrecken wurden von ihm in fruchtbares und besiedeltes Gebiet verwandelt. Das Textilgewerbe, Berg- und Hüttenwesen, die Porzellanmanufaktur und viele andere Zweige der nationalen Industrie belebte seine Tatkraft. Schule und Recht, die Grundlagen des geistigen und wirtschaftlichen Lebens, hat er gehoben.“

Friedrich II. hat 46 Jahre regiert, elf davon waren Kriegsjahre, 35 Friedensjahre. Auch im Lärm der Schlachten hat die Sorge für die Wirtschaft seines Landes nie geruht. Von dieser Friedensarbeit des großen Königs, der vor 150 Jahren, am 17. August 1786, die Welt verließ, wollen wir hier sprechen.

Friedrich II. war der Repräsentant des 18. Jahrhunderts. Eine neue Ordnung Mitteleuropas bahnte sich an. Nach dem spanischen Erbfolgekrieg 1701 bis 1714 bestimmten die drei schlesischen Kriege von 1740 bis 1763 das europäische Geschehen. In die Zeit des großen Königs fielen die entscheidenden Kämpfe von Nordamerika, zwischen Frankreich und England, er erlebte das Entstehen der heutigen Weltmacht: der Vereinigten Staaten von Amerika.

Geistig fällt die Zeit des großen Königs in die Zeit der Aufklärung. *Kant* hat vorgeschlagen, diese Zeit der Aufklärung die Zeit Friedrichs zu nennen, da er zuerst die Möglichkeit gegeben habe, von der Vernunft öffentlich Gebrauch zu machen.

Der große Vertreter der englischen Aufklärung, *Lord Chesterfield,* sprach vom König als l'homme de Prusse, nicht le roi de Prusse.

1749 wird *Goethe* geboren, 10 Jahre später *Schiller. Lessing, Klopstock, Wieland, Bürger* leben in seiner Zeit. Mit dem großen Mathe-

matiker *Euler* (1707 bis 1783) steht er in enger Beziehung. Sein Architekt *von Knobelsdorff* baut ihm Sanssouci und das Berliner Opernhaus.

1769 wird *Napoleon* geboren, im gleichen Jahr erhält *James Watt* das Patent auf die Dampfmaschine. Durch diese von Wind und Wasser unabhängige Kraftmaschine wird die große, folgenschwere industrielle Revolution ausgelöst, in deren Auswirkung wir noch heute stehen. Drei Jahre vor dem Tode Friedrichs II. erhebt sich *Montgolfiers* erster Luftballon von der Erde.

Diese wenigen Daten mögen genügen zur flüchtigen Skizze der Zeit, in der sich die Riesenarbeit des Königs innerhalb seines Landes abspielt.

Am 17. August 1786 schied der große König aus dieser Welt. Eine große Zeit war abgeschlossen. Am 14. Juli 1789 stürmte das Volk von Paris die Bastille — Die französische Revolution — Napoleon — Zusammenbruch Preußens — Wiederaufstieg — Die Freiheitskriege — Ein ungeheures Erleben, zusammengedrängt auf 30 Jahre.

Am 13. Dezember 1740, vor 196 Jahren, fährt Friedrich von Berlin ab zur Front. Von der Rechtmäßigkeit seiner Ansprüche auf Schlesien überzeugt, glaubte er, nicht nur durch schriftliche oder mündliche Verhandlungen sein Recht erhalten zu können. Er will vollendete Tatsachen schaffen und dann verhandeln. Ein jugendlich froher König von 28 Jahren an der Spitze froher Soldaten — 16 460 Mann, 5000 Reiter, 34 Geschütze — zieht er „zum Rendezvous des Ruhmes". Am 3. Januar 1741 ist er in Breslau. Aber aus diesem militärischen Spaziergang entwickeln sich drei Kriege und die Neugestaltung Europas.

Das Reich Friedrichs des Großen erstreckte sich von Memel bis Wesel. In Frankreich sprach man spottend vom Königreich der Grenzstriche. 1740 hatte dieses Preußen halb soviel Einwohner wie heute Berlin, über 2,2 Millionen Untertanen beherrschte der König. Mit Schlesien hatte Preußen 1753 rd. 4,1 Millionen Einwohner. Zur selben Zeit zählte Großbritannien 9, Österreich 13 und Frankreich 17 Millionen Einwohner. Berlin war auch damals die größte Stadt Preußens mit 100 000 Einwohnern, Breslau hatte halb soviel.

Die Schlesischen Kriege begründeten den die Welt erfüllenden Ruhm Friedrichs als Feldherr und Kriegsheld. Die Deutschen hatten wieder Grund, stolz zu sein. Das Harte, Starrsinnige preußischer Herkunft galt als gute Mischung zu dem in Jahrhunderten politischer Ohnmacht zu weich gewordenen Deutschtum.

Goethe nannte Friedrich den Großen „den Polarstern, um den sich Deutschland, Europa, ja die Welt zu drehen schien".

Von der Friedensarbeit

Am 31. Mai 1740 war der preußische Soldatenkönig, der Vater Friedrich II., gestorben. Er hatte seinem Sohn ein schlagfertiges Heer, einen großen Kriegsschatz und eine geordnete Wirtschaft hinterlassen. Am 2. Juni 1740 vereidigt der neue König seine Minister. Er erklärte ihnen, der Vorteil des Landes und der Vorteil des Königs sind gleich. Niemals dürfe der König sich auf Kosten seiner Landeskinder bereichern. Er gelobt, er wolle keine Götter haben neben der Pflicht, für sein Volk, für sein Land unablässig zu arbeiten. Diesen Schwur hat der König 46 Jahre gehalten. „Es ist nicht nötig, daß ich lebe, wohl aber, daß ich meine Pflicht tue."

Landwirtschaft und Siedlung

Der König nennt den Ackerbau „die erste der Künste, ohne die es keine Kaufleute, Könige, Poeten, Philosophen geben würde", -- „nur das sei wahrer Reichtum, was die Erde hervorbringe. Wer seine Ländereien verbessere, ungebautes Land urbar mache und Sümpfe austrockne, der mache Eroberungen von der Barbarei".

„Die Seelenzahl der Bevölkerung macht den Reichtum des Staates aus". Der König wird zum Siedler. Er will Provinzen im Frieden erobern. Großes sumpfiges Gelände muß trockengelegt werden, in den Flußniederungen entstehen fruchtbare Wiesen. Sumpf und Ödland wandeln sich zu Weiden und Äckern.

Was der Dreißigjährige Krieg noch an wüsten Stellen übriggelassen hatte, wird besiedelt. Die großen Rittergüter müssen mit gutem Beispiel vorangehen. Der König ist ein Freund des Bauern. Er kämpft gegen das Bauernlegen.

Besonders schlimm war es in Oberschlesien. Hier waren zahllose Bauernhöfe verschwunden. Dem König wird gesagt, daß sich die Einwohnerzahl durchaus nicht auf diesem Wege steigern lasse. Der König will Bauern haben und nicht nur Untertanen. 1748 läßt er zu große Bauernhöfe teilen. Der Schwerpunkt seiner Arbeit liegt darin, neue Dörfer zu schaffen. In der Mark, in Pommern und in anderen Gebieten entstehen diese neuen Dörfer, vor allem aber in Schlesien. Bis 1785 waren aus den Vorwerken der Königlichen Domänen bereits mehr als 300 Bauerndörfer entstanden.

Der König verlangt auch die Gemeinheits-Teilungen, die sogenannten Separationen. Die durcheinanderliegenden Wiesen- und Ackerstücke sollen neu aufgeteilt und zusammengelegt werden. Landmesser und Ingenieure finden Arbeit. Die Landleute und Behörden aber wollen nichts davon wissen. Doch der König versteht den Widerstand zu brechen, er weist auf die großen Ergebnisse dieser Arbeit in der Schweiz und in England hin. Seine Leute seien zu dumm, um ihren

eigenen Vorteil zu verstehen. Aber sie sollten ruhig bis zum jüngsten Tag schreien, es würde ihnen doch nichts helfen.

Selbst mit dem schlimmsten märkischen Sandboden will der König fertig werden. Die von englischen Landwirten empfohlenen Futterkräuter — Seradella, Klee und die aus Italien stammende Lupine — führt er ein. Söhne von Domänenpächtern schickt er nach England. Sie müssen dort genaue Tagebücher führen, die der König selbst prüft. Er holt sich auch englische Sachverständige ins Land.

Der König kümmert sich um die Stallfütterung. Der Milchertrag sei höher und man bekäme mehr Dünger.

1776 schreibt er an Voltaire: „Ich gestehe, daß — Lybien ausgenommen — wenig Staaten sich rühmen können, im Punkt des Sandes uns gleichzukommen. Indessen bauen wir dieses Jahr 76 000 Morgen Wiesen an. Diese Wiesen nähren 7000 Kühe, deren Mist wird unsern Sand düngen und verbessern, die Ernten werden mehr wert sein."

Wenn er unter dem Sand Lehm fand, so mußte rigolt werden, um den Boden zu verbessern. Das war teuer, aber der König zahlte. Konnte man damit auch den Sandboden nicht verbessern, dann sollte wenigstens elendes Krummholz darauf angepflanzt werden, das doch Brennwert hätte. In sechs Jahren bepflanzte er 20 000 Morgen losen Sandes mit Kiefern.

Von dem Segen der Kartoffel ist der König so fest überzeugt, daß er immer wieder besondere Vorschriften hierüber herausgibt. Man will von der Kartoffel nichts wissen, aber auch hier siegt schließlich der König.

Weiter fördert er Bau und Zubereitung des Waids, des weit verbreiteten Färbemittels.

Es müssen Obstbäume gepflanzt werden, denn man kauft noch getrocknetes Obst aus Sachsen. Geld muß man soviel als immer möglich zu behalten suchen.

Damals war die sächsische Grenze nahe bei Potsdam. Der König sah 1783 wieder einmal, wie große Wagen mit Meerrettich und Bollen (Zwiebeln) aus Sachsen in sein Land kamen, und er schreibt sofort an den Minister, er solle dafür sorgen, daß Meerrettich und Bollen ausreichend und in guter Qualität in Preußen wachsen.

Er kümmert sich um die Forsten, immer neue Wälder müssen angelegt werden, „kein Platz, wo ein Baum stehen könnte, darf unbepflanzt bleiben. Jeder, der Wald besitzt, soll daran denken, was er der Nachwelt und dem Staate schuldig ist."

Der König kümmert sich ebenso eingehend um die Viehzucht. Er läßt sich ausrechnen, wieviel Vieh mit den Kolonisten in sein Land



Friedrich der Große
Zeitgenössisches Bild von Georg Ziesenis
Original im Heidelberger Kurpfälzischen Museum

gekommen ist. Er gibt genau an, wie das Vieh zu füttern ist, wie man Seuchen bekämpft, wie man Zuchttiere auswählen und behandeln soll. Aber er läßt seine Kolonisten sich das Zuchtvieh selbst aussuchen und kaufen und gibt ihnen das Geld dafür. Denn „die Leute werden immer mit solchen Kühen, die sie sich selbst gekauft haben, mehr zufrieden sein".

Um die Milchwirtschaft zu verbessern, holt er Holländer auf Staatskosten ins Land. Er läßt Unterricht erteilen in der Milchwirtschaft. Der Lehrer soll den Leuten sagen „wie die Gefäße und Maschinen

zum Buttermachen beschaffen sein und wie solche propre gehalten werden müssen, und wie die Butter gemacht wird, daß sie sich hübsch konservieret, und daß die Butter, die zu den Speisen gebraucht wird, sich besser hält und nicht so leicht verdirbet, wie die jetzige; das macht, weil die Butter nicht reinlich genug ausgewaschen wird und die Gefäße und Maschinen nicht recht propre gehalten werden."

Als er erfährt, daß für Berlin noch viele Eier aus dem Ausland gekauft werden müssen, stellt er fest, daß jeder Bauer auf dem Lande nur 10 bis 12 Hühner mehr zu halten brauchte, dann würde man unabhängig vom Ausland sein, und so verbietet er, fremde Eier einzuführen. Selbst seine Minister äußern die größten Bedenken, aber er antwortet ihnen: „Wenn die Herren Minister Eier essen wollen, so geben sie sich mehr Mühe mit die Kammern, solches zu bewirken. Der Verbot für ausländische Eier bleibt."

Zu den großen Arbeiten in der Landwirtschaft braucht der König Menschen. Kolonisten kommen in großer Zahl aus der Pfalz und aus Süddeutschland. Er sorgt sich um seine neuen Untertanen. Er verlangt von seinen Kammern, daß man diesen Kolonisten, die auf Treu und Glauben in das Land gekommen seien, helfen solle und sie nicht plagen und schinden dürfe. Viele Siedler kommen auch aus Sachsen, Böhmen und Thüringen, wo damals Hungersnot herrschte. 6000 Arbeiter haben anfangs Tag und Nacht in der neu erworbenen Provinz Westpreußen gearbeitet, dem König konnte es nicht schnell genug gehen. Er baut Kanäle und ruft immer neue Menschen ins Land. Er wirbt auch im Ausland neue Siedler, seine Nachbarn freuen sich nicht darüber. *Joseph II.* verbietet 1768 in Österreich „den Frevel des Auswanderns".

Aber überall hat der König seine Agenten. Aus dem übervölkerten Württemberg kommt oft die Hälfte des ganzen Dorfes. Er nimmt, was er bekommen kann, aber er rät „die Attention auf Pfälzer, Schlesier, Thüringer, Mecklenburger und teutsche Pohlen zu richten". Das seien tüchtige Arbeiter.

In Westpreußen hat der König auch Leute aus Dänemark, Italien, Holland, Schweden, England, Kurland, Litauen, der Schweiz und Ungarn aufgenommen. Er wollte gern in großem Maßstab ganz junge Burschen ins Land bringen, weil er glaubte, daß diese schneller bodenständig würden. Er suchte nach Knaben von 11 bis 14 Jahren.

Der König unterstützte die Kolonisten soweit es irgend möglich war. Er zahlte die Reisekosten, er gab Geld zum Bauen, er bezahlte das Vieh und gab ihnen das Land zunächst in Erbpacht.

Es war oft nicht leicht, mit den aus aller Herren Länder kommenden Kolonisten fertigzuwerden, aber auch ungünstige Erfahrungen an einzelnen Stellen schreckten den König nicht ab. Er siedelt, denn



Abb. 1. Friedrich der Große besichtigt Kolonisationsarbeiten im Rhinluch
Gemälde von J. C. Frisch, Original im Hohenzollernmuseum, Berlin

die Menschen sieht er als den größten Reichtum seines Landes an. 350 000 Siedler hat er in sein Land gezogen. Als der König starb — 1786 — errechnete man die Einwohnerzahl seines Landes auf 5,5 Millionen, von denen ein Sechstel oder gar ein Fünftel Kolonisten oder Abkömmlinge von Kolonisten waren. Von der hierdurch erreichten Blutmischung hielt der König sehr viel. Er glaubte, daß die Menschen fleißiger, tatkräftiger und beweglicher würden.

Gewerbe und Industrie

Als der große preußische Industrieförderer *Beuth* 1821 den ältesten technischen Verein, den „Verein zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen" gründete, stellte er ihm die Aufgabe, im Sinne des großen Preußenkönigs, wie der Name des Vereins es zum Ausdruck bringt, die Gewerbe zu fördern. Dieser alte Verein, der so Großes auf seinem Gebiet geleistet hat — heute eingefügt in das Arbeitsgebiet des Vereines deutscher Ingenieure — hat sich frühzeitig mit Recht Friedrich den Großen zu seinem Schirmherrn erwählt. Am 200. Geburtstag des Königs ließ er 1912 das Buch verfassen mit dem Titel „Friedrich der Große als Beförderer des Gewerbfleißes". Wer immer das Glück hat, sich gerade in dieses Arbeitsgebiet des Königs zu vertiefen, wird immer

wieder erneut staunend bewundern die Arbeitskraft, Zielsetzung und die Zähigkeit des Königs, der, weit entfernt, sich mit allgemeinen Anweisungen und Richtlinien zu begnügen, tief in die Einzelheiten der Dinge eindringt. Ihm ist nichts zu klein, denn er will den Erfolg sehen und er weiß, wie viel im praktischen Leben hier nicht nur von der großen Idee, sondern von der pflichttreuen Ausführung der oft scheinbar unbedeutenden Dinge abhängt. Es gibt kein Gewerbe, um das sich der König nicht gekümmert hätte, denn seine Preußen sollten auch wirtschaftlich vorankommen. Arme Menschen konnten auch keine Steuern zahlen, und die brauchte der König für seine großen wirtschaftlichen Aufgaben und für sein Heer.

Textilindustrie

Im Vordergrund der gewerblichen Tätigkeit stand im 18. Jahrhundert die Textilindustrie. Von den 165 000 Menschen, die man 1785 in der „nationalen Industrie" beschäftigte, kamen allein 80 000 auf die Leinen-, 58 000 auf die Woll-, 7000 auf die Baumwoll- und 6000 auf die Seidenindustrie.

Hier konnte Friedrich an die Arbeiten seiner Vorfahren anknüpfen. Bereits der Große Kurfürst hatte 1675 in Berlin eine Seidenmanufaktur gegründet. Französische Flüchtlinge, die viele neue Anregungen nach Preußen brachten, haben diese Industrie wesentlich gefördert. Der Hof war der einzige große Verbraucher im Lande, deshalb war auch Berlin und Potsdam der Standort für diese Industrie. Der König wollte die eigenen Landeskinder für diese Industrie erziehen, doch fand er zunächst sehr wenig Verständnis. Zu einer Industrie gehören nicht nur Arbeiter, sondern auch Unternehmer. Sich diese Unternehmer zu erziehen war schwieriger als die Arbeiter heranzubilden, und der König hat oft geklagt, daß seine Preußen so wenig geschäftlichen Unternehmungsgeist hätten. Er schreckte auch vor Zwang und Drohung nicht zurück, um hier voranzukommen. Er richtete Fabriken ein und hat oft ein hohes Lehrgeld bezahlen müssen. Dazu kam, daß man zunächst von den neuen Waren nichts wissen wollte, alles was vom Ausland kam, hielt man für besser. Der König dringt immer wieder darauf, die Fabrikation nicht gleich zu groß anzufangen. Man solle nicht zu viel Geld in Gebäude und Maschinen stecken, man müsse fleißig arbeiten und mäßig leben und erst dann, wenn man vorwärts käme, solle man die Fabrikation erweitern. In des Königs Kabinett liefen alle Fäden zusammen, Arbeiter, Angestellte, Unternehmer und Beamte verlangten hier Rat und Hilfe.

Dem Muster Englands folgend hat der König auch Exportprämien eingeführt. Für Seidenzeug wurden 4 % bewilligt. Für jede arbeitende Maschine gab man Prämien. Dem König lag daran, daß nicht nur in

Berlin und Potsdam Fabriken gegründet würden, — gerade in den kleinen Städten solle man Industrien schaffen, weil dort auch die Arbeitslöhne billiger wären. Der König läßt sich durch seine Diplomaten und Handelsagenten fortlaufend berichten, was im Ausland erreicht war. Dieses Wissen vermittelt er seinen Industriellen oft zugleich mit den Maschinen, die im Ausland erworben wurden. Was man gelernt hatte, wollte man sich auch erhalten, und so wurden die strengsten Verfügungen gegen die „Fabrikverräter" erlassen.

Zu den wichtigsten Industrien des Landes gehörte auch das seit alten Zeiten bodenständige Wollgewerbe. Fast jede Stadt hatte ihre Tuchmacher. Auch hier hat die französische Einwanderung den Fortschritt sehr gefördert. Vor allem lag dem König daran, die Güte der Ware zu verbessern. Strenge Bestimmungen — den heutigen Normen vergleichbar — wurden erlassen.

Oft fehlte es an Spinnern. Manche Webstühle mußten feiern, weil nicht genug Garn zu erhalten war. Der König befahl bereits 1748, man solle die vielen jungen Mädchen, die auf dem Lande das Vieh hüteten, auf einige Jahre zum Spinnen in die Stadt schicken. Ein Hirte genüge für ein ganzes Dorf. Selbst von seinen Soldaten, denen der Dienst viel freie Zeit ließ, verlangte der König industrielle Betätigung; „junge Herkulesse mit Schnurrbärten bei der Spindel zu sehen" wurde eine vertraute Erscheinung. Er schuf bereits Siedlungen für seine Textilindustrie. Er baute besondere Wollspinnhäuser. Jedes war 48 Fuß breit, hatte zwei Stockwerke und war für je vier Familien bestimmt.

Um die Schafzucht zu verbessern, kauft der König Böcke und Mutterschafe, „tief in Andalusien". Auch „der Kaiser von Marokko" hat Zuchttiere zu liefern.

Schlesien bringt dem König eine große Leinenindustrie. „Die Leinwand bringt Schlesien im Verhältnis ebensoviel ein, als dem König von Spanien sein Peru", das war die Ansicht des Königs. Er sucht das Absatzgebiet zu erweitern, er führt Handwerker aus Kursachsen ein, um die vernachlässigte Damastweberei wieder zur Blüte zu bringen. Aus den Erfahrungen mit der schlesischen Leinenindustrie sucht er andere Provinzen zu fördern, und zwar wollte er die Leinenweberei als ländliches Gewerbe angesehen wissen, sie sollte eine Nebenbeschäftigung der bäuerlichen Bevölkerung bilden.

Gerade auf dem Gebiet der Textilindustrie hatte sich der König auch mit den aus England stammenden neuen Maschinen, die eine so gewaltige technische, wirtschaftliche und soziale Umwälzung hervorriefen, auseinanderzusetzen. Er, der Führer der gesamten Industrie, hatte dafür zu sorgen, daß nicht der eine Teil der Wirtschaft zugunsten des anderen zu Schaden kam. Der König hat die Einführung der Maschine nicht bedingungslos unter allen Umständen gefördert.

Manche haben darin einen Mangel an Weitblick sehen wollen. Aber er war der große Unternehmer, der auf eigene Kosten mit großer Mühe sich Arbeiter beschafft hatte, für die er auch dann zu sorgen hatte, wenn durch neue technische Entwicklungen ihre Arbeit überflüssig wurde. Und so ist es zu verstehen, wenn er von seinen Ministern verlangte, daß die neue Spinnmaschine nur bei den großen Manufakturen zu verwenden sei, daß sie aber nicht sogleich überall einzuführen wäre, „es würde ja sonst eine sehr große Menge Menschen, die bisher von dem Spinnen sich ernährt haben, außer Brot gesetzt werden, das kann unmöglich angehen ...“. Wenige Wochen vor seinem Tode aber schrieb er noch von Potsdam an seinen Minister, daß er sich um einen Menschen kümmern sollte, der die in England so viel benutzten Maschinen vollkommen kenne, ihm sei sehr daran gelegen, daß dieser Mensch angestellt würde, denn wenn er die Sache wirklich gründlich verstehe, so werde er sehr gute Dienste tun können.

In der Papierfabrikation war es der Ehrgeiz des Königs, ebenso gutes Papier herzustellen wie in Holland und Frankreich. Der Rohstoff hierfür waren die Lumpen. Die Ausfuhr war streng verboten. Königliche Lumpensammler wurden organisiert, und er gibt genau an, wie zu verfahren sei. Die Lumpensammler sollten den Frauen auf dem Lande Stahl und Schwamm zum Feuermachen geben und sie im Gebrauch unterrichten, damit nicht so viele wertvolle Leinenlumpen zu Zunder verbrannt würden.

Berg-, Hütten- und Salinenwesen

Friedrich der Große hat sich zunächst mit Rücksicht auf die Landesverteidigung und aus seinem Streben, sich soweit wie irgend möglich in allen notwendigen Lebensbedürfnissen vom Ausland unabhängig zu machen, um das Eisenhüttenwesen in seinen Ländern gekümmert. Eine besondere Bedeutung gewann das Eisenwerk zu Peitz unweit Kottbus. Der König übernahm es 1752, um Kugeln und Bomben zu gießen. Ebenso wichtig wie Peitz war das Hüttenwerk zu Zehdenick an der Havel, das schon seit 1620 im Betrieb war. Auch diese Hütte übernahm der König, um den Munitionsbedarf sicherzustellen. Auch in Pommern hatte er ein Eisenwerk angelegt, das ihm Bleche liefern sollte, besonders aber wollte er Neustadt-Eberswalde zu einem Mittelpunkt seiner Eisenindustrie in der Mark ausbauen.

In Schlesien suchte er sofort nach der Besitzergreifung das Berg- und Hüttenwesen zu fördern. Unter seiner Regierung wurde der Grund gelegt zu der Oberschlesischen Großindustrie, die um die Wende des 18. und 19. Jahrhunderts in der Welt an großzügiger technischer Entwicklung kaum ihresgleichen hatte. Schon 1741 hatte der König aufgefordert, jeder, der etwas Vernünftiges und Ersprießliches in Berg-



Abb. 2. Friedrich der Große mit dem Marquis d'Argens besichtigt den Bau der Terrassen bei seiner Gruftanlage in Sanssouci
Gemälde von J. C. Frisch, Original im Hohenzollernmuseum, Berlin

werkssachen vorbringen könne, solle dies tun. Es fehlte aber an Fachleuten. Abenteurer und Projektemacher drängten sich heran, um sich dem König mit „treu gemeinten Vorschlägen" zu empfehlen. Manchen war es dabei hauptsächlich um Gehalt und Pension zu tun. Zuweilen wurde als einziger Befähigungsnachweis der Patriotismus angeführt. Aber das genügte dem König bei weitem nicht, er brauchte Fachleute. In Oberschlesien war die Eisenindustrie zurückgeblieben. Sie galt nur als Nebenbetrieb großer landwirtschaftlicher Besitzungen und der Forstwirtschaft. An dem Fluß Malapane wurde das heute noch arbeitende Hüttenwerk Malapane gegründet. Der Oberforstmeister *Rehdanz* hat hier 1754 und 1755 Hochöfen und Frischfeueranlagen errichtet. Undurchdringliche Wälder bedeckten das Gebiet, von menschlichen Siedlungen war kaum die Rede. Die Arbeiter mußte

man sich mit großen Kosten aus Brandenburg, Sachsen und dem Harz heranholen. Erst nach dem Siebenjährigen Krieg begann sich der schlesische Bergbau im großen zu entwickeln. Hier ist der *Freiherr von Heinitz* — 1725 bis 1802 — zu nennen, der Begründer der Freiberger Bergakademie. Er trat 1777 in den Dienst Friedrichs des Großen, und er gehörte zu den größten Ministern, die Preußen gehabt hat. In dem *Grafen von Reden,* der in Clausthal, Göttingen und England seine Ausbildung genossen hatte, fand er seinen genialen Mitarbeiter, der Oberschlesien zur Wiege der deutschen Großindustrie machte. Heinitz und Reden reichten auch bald dem König einen Plan ein, in Tarnowitz den Blei- und Silberbergbau wieder aufzunehmen. Es gelang ihnen auch, des Königs Interesse für das Tarnowitzer Unternehmen zu erwecken. Jetzt begann auch der König zu drängen, daß man vorwärtskomme. Es war ihm aber nicht beschieden, die Früchte seiner großen Unternehmungen noch zu schauen.

Diese Arbeiten erforderten viel Geld. Heinitz wird nicht müde, große Summen vom König zu fordern, aber es dauerte lange, bis sie ihm bewilligt wurden, und manchmal wurde der König ungeduldig über das allzu starke Drängen seines Ministers. Der Minister solle doch wenigstens auf seinen kranken König Rücksicht nehmen und warten, bis er wieder mehr bei Kräften sei.

Mit Heinitz begann auch die weitreichende Verstaatlichung. Der König nahm die meisten und wichtigsten Werke in eigene Verwaltung. Der alte kleine handwerksmäßige Betrieb wollte nicht mehr ausreichen. Die bisherigen Besitzer aber hatten nicht genügend Geld, um ihre Betriebe entsprechend zu vergrößern. Vor allem aber fehlte es ihnen an Unternehmungsgeist. Der König ist der wirkliche Großindustrielle und er muß überall eingreifen. Zuweilen wehrt er sich dagegen. Er könne nicht einsehen, warum er alle Eisenwerke kaufen solle, das wolle er nicht tun, man müsse auch dem Publico etwas lassen. Schließlich muß er zwei Jahre später auch das Werk übernehmen, das hier gemeint war.

Im Bergbau der Grafschaft Mansfeld hat der König dafür gesorgt, daß dort die erste in Deutschland gebaute Dampfmaschine — eine Wattsche Wasserhaltungsmaschine — in Betrieb genommen wurde. Er befahl 1780 seinem Minister, sich um die Feuermaschine genau zu kümmern. Er wollte sie vor allem im Bergbau für die Wasserhaltung benutzen. Der Bergassessor *Bückling* wurde nach England geschickt, um die Maschine genau zu studieren. Nach seinen Plänen hat dann ganz Preußen an seiner ersten Dampfmaschine gearbeitet. Der Dampfzylinder wurde im königlichen Gießhaus in Berlin gegossen, aus dem Kern gebohrt und inwendig sehr sauber poliert. Die Kolbenstangen

und andere größere Schmiedeteile lieferte ein oberschlesischer Hammer, die Gußteile stammten aus Zehdenick in der Mark Brandenburg, der königliche Kupferhammer bei Neustadt-Eberswalde fertigte den Dampfkessel an, die Pumpen entstanden in Ilsenburg und Mägdesprung im Harz, den hölzernen Balanzier nebst Zubehör stellte man auf dem Schacht selbst her. Am 23. August 1785 konnte bei Hettstedt diese erste Dampfmaschine zu dauernder gewerblicher Benutzung feierlichst in Betrieb genommen werden. Der Verein deutscher Ingenieure hat 100 Jahre später die Bedeutung dieser Maschine durch ein Denkmal an der Stelle, an der sie zuerst gearbeitet hat, gewürdigt.

Auf dem Gebiet des Salinenwesens hat sich der König besonders um die Entwicklung des Salzwerkes zu Schönebeck gekümmert. Hier waren der Technik besondere Aufgaben gestellt. Als Schlesien Friedrich zufiel, versuchte er auch sofort hier Salz zu gewinnen. Ebenso hat er sich gerade in Schlesien bemüht, die Industrie der Steine und Erden zu fördern. Sein schlesischer Minister mußte ihm Marmorproben mit Fundortsvermerk übersenden, und der König ließ durch einen besonderen Abgesandten die schlesischen Marmorbrüche untersuchen. Die nach Berlin gesandten Proben befriedigten den König.

Unter die im Siebenjährigen Krieg gegründeten Fabriken gehörte in erster Linie die Porzellanmanufaktur in Berlin, die sich heute noch mit Recht eines besonderen Ansehens erfreut. Meißen diente als Muster. Gerade diese Fabrik hat der König sehr in sein Herz geschlossen, und er hat sie oft besichtigt, wenn er in Berlin war. Er war davon überzeugt, daß sein Porzellan besser wäre als das Meißner. Er selbst war auch der beste Kunde seiner Fabrik, deren Erzeugnisse er gern zu Geschenken benutzte.

Steinkohlenbergbau

Besonders nach dem Siebenjährigen Krieg hat der König dem Steinkohlenbergbau erhöhtes Interesse zugewandt, hauptsächlich auch in Schlesien. Er wußte durchaus, wie notwendig es war, in der Industrie das Holz bald durch die Kohle zu ersetzen. Der König war besorgt um Bildung und Erhaltung des Bergmannstandes. Er errichtete Bergbau-Hilfskassen und er verlangte, daß man beim ganzen Kohlenbergbau auch auf die später kommenden Geschlechter Rücksicht zu nehmen habe, damit es ihnen dereinst nicht an Kohlen fehle. In Berlin machte sich damals schon Holzmangel bemerkbar, es sollte deshalb unbedingt die Kohlenzufuhr sichergestellt werden. Die Hauptschwierigkeiten lagen in den Transportverhältnissen. Es war aber auch sehr schwer, die Industriellen und vor allem die Hausbesitzer zur Steinkohlenverwendung zu erziehen. Besondere Gebrauchsanweisungen waren herauszugeben und geeignete Öfen herzustellen.

Finanzen und der Handel

Geordnete Finanzen sind dem König die Voraussetzung für die Wohlfahrt des Landes, für die Achtung des Fürsten.

Die Staatseinnahmen betrugen 1740 nicht ganz 7 Millionen Taler. 72 %, also 5 Millionen Taler, wurden für das Heer ausgegeben.

Der König verlangte größte Sparsamkeit. Ein Fürst soll weder geizig noch verschwenderisch sein, sparsam müsse er sein, weil das Geld, das er erhalte, Blut und Schweiß des Volkes sei, so daß er es nur zum Allgemeinwohl verwenden dürfe. Er bezog als „Pension", wie er es nannte, aus der Staatskasse jährlich 52 000 Taler und 20 000 Taler Reisegelder. Aus diesen Beträgen zahlte er auch viele kleinere militärische Ausgaben.

Um für alle Fälle gerüstet zu sein, hat der König auf seinen Staatsschatz großen Wert gelegt. Dem Schatz wurden Überschüsse aus den Staatseinnahmen reichlich zugewendet. Sobald Friede war, sorgte er dafür, daß der Schatz sich schnell wieder füllte. Was der Staatsschatz zu bedeuten hatte, zeigte der Siebenjährige Krieg.

Als der König aus dem großen Kriege zurückkam, führte er die schon lange geplante Neueinrichtung des gesamten Finanzwesens durch. Wollte er seine Machtstellung behaupten, so mußte er noch mehr als früher für sein Heer verwenden. Von seinen Ministern erwartete er keine bahnbrechenden Neuerungen. Er hoffte, von französischen Einrichtungen, die er studiert hatte, viel entnehmen zu können. Zuerst dachte er daran, die Einnahmen aus Zöllen und Steuern zu verpachten, aber fand nicht die Geldleute, die in der Lage waren, die von ihm verlangte Kaution zu stellen. Der König entschloß sich, Beamte mit festem Gehalt und Anteil am Gewinn anzustellen. Er wollte nicht, daß nur der Arme, als dessen Anwalt er sich fühlte, der Zahler sei. Aber vor allem, die Staatseinkünfte mußten vermehrt werden. Es kam zu Mehrbelastungen, die sehr drückend empfunden wurden, und besonders erbittert war man über die Franzosen, die nunmehr als Steuereinnehmer ins Land kamen. Allerdings so schlimm wie man es gemacht hat, ist es nicht gewesen. Von den 2000 Stellen, die zu besetzen waren, waren höchstens 200 an Franzosen vergeben. Aber die ganze Finanzverwaltung galt nunmehr als Fremdwirtschaft und wurde gehaßt.

Alles, was man als Luxus ansah, wurde hoch besteuert. Dazu gehörte damals auch der Kaffee, und so wurde der Schmuggel mit Kaffee sehr einträglich. Es wurde angeordnet, daß der Kaffee nur in den königlichen Brennereien gebrannt werden dürfe, und man stellte 400 Invaliden als „Kaffeeriecher" an, um festzustellen, ob diese Be-

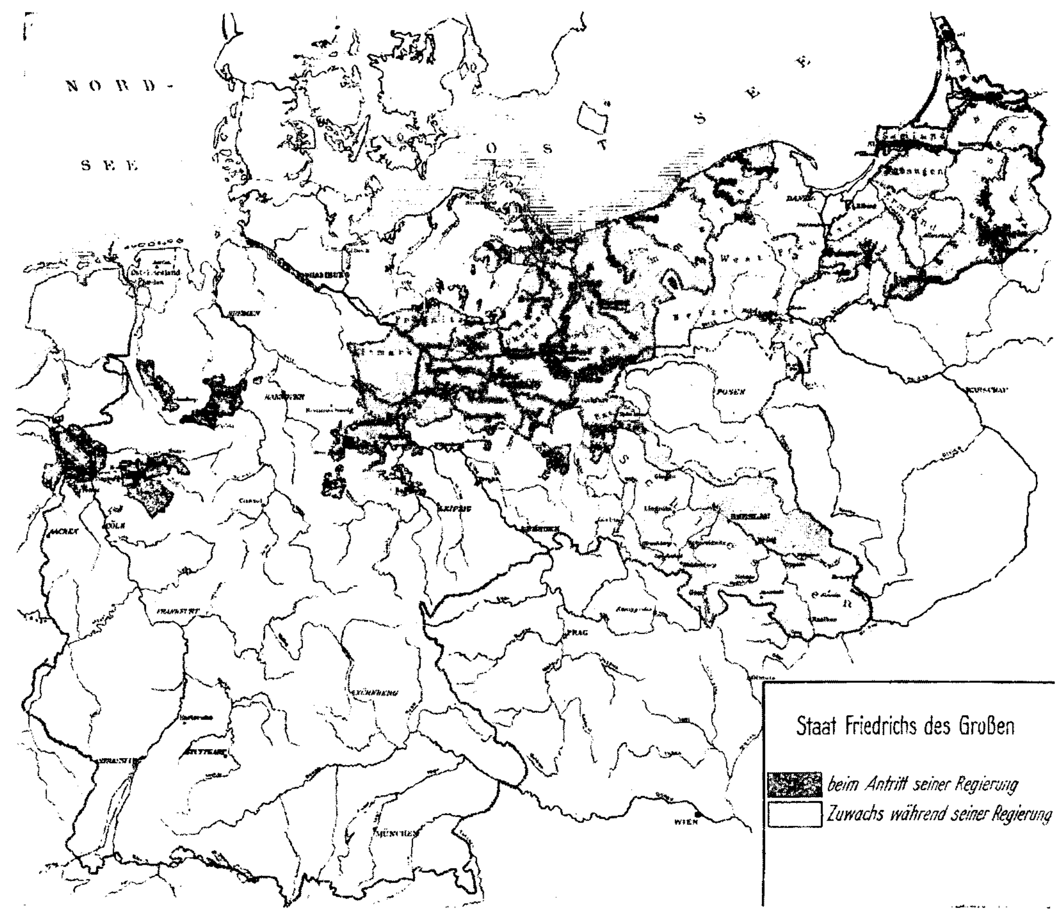


Abb. 3.
Das Königreich
Preußen
unter Friedrich II.

stimmung in den einzelnen Haushaltungen nicht übergangen wurde, aber das wurde als eine in das Innerste der Häuser dringende Spionage besonders bitter empfunden.

Krieg führen kostet Geld. Schließlich hat sich der König nach starkem Widerstreben auch dazu verstehen müssen, schlechte Münzen auszuprägen. Er war sicher nicht der Erfinder dieser Finanzmaßnahme, die man nicht mit Unrecht als „ein beliebtes Hausmittel altväterischer Finanzkunst in den europäischen Staaten" bezeichnet hat. Natürlich hatte man dem König zuerst geraten, die Münzen nur ein klein wenig schlechter zu machen, damit niemand etwas davon merke. Zunächst kamen nur Goldmünzen an die Reihe. Aber schließlich kam man auch zu den Silbermünzen, und eine unglaubliche Verwirrung in den Zahlungsmitteln war die Folge. Die Münzverschlechterung kam einer sehr erheblichen Kriegssteuer gleich.

Handelspolitik

„Überhaupt muß man auf alle Weise und Mittel bedacht sein, das Geld im Lande zu verdienen und immer mehr hereinzuziehen. Das ist das Vornehmste, wonach man sich bemühen muß. Man muß immerfort spekulieren und raffinieren, wo noch etwas in dem Fabrikwesen fehlt."

Der König kümmerte sich auch um den Absatz der Waren. Seine Diplomaten sind zugleich seine Handelsagenten. Ein tartarischer Gesandter aus der Krim muß einige Ballen preußisches Tuch mitnehmen, um in seiner Heimat dafür Propaganda zu machen.

Der überseeische Handel von Königsberg, Stettin und Emden wurde gefördert. Er will Handelsgesellschaften gründen. Immer wieder verlangt er von seinen Auslandsagenten, sie sollten angesehene unternehmende Kaufleute aus Frankreich, England und Belgien für Preußen werben. Emden wird Freihafen.

Es meldeten sich sofort allerhand müßige Tunichtgute und Projektemacher. Dem einen oder andern ist der König doch in die Hände gefallen. Aber er bleibt immer wieder der kühne Realpolitiker. Zuviel auf einmal zu unternehmen, sich zu zersplittern, das sei unbedingt falsch. Man solle nicht alles zugleich anfangen, „wo aber der wenigste Vorteil dabei herauskommt, das lassen wir alles bis zuletzt".

Der König gründet auch die Preußische Seehandlungs-Gesellschaft und unterstützt die Kaufleute nach jeder Richtung.

Seine Kaufleute waren nicht immer mit ihm zufrieden. Er tröstet sich dann wohl mit dem Hinweis, die Kaufleute wären wie die Landwirte, denen selbst der liebe Gott nie etwas recht machen könnte.

Verkehrswesen

Der Verkehr lag im 18. Jahrhundert sehr im argen. Die ersten Kunststraßen hat Preußen erst 1787 bekommen. Man hat behauptet, Friedrich der Große wäre ein Gegner guter Straßen gewesen. Das ist nicht der Fall, er hat nur anderes für noch wichtiger gehalten, er wollte sich nicht zersplittern, er hatte das Geld nicht dazu, alles auf einmal zu machen.

Für den Schiffbau hat er sich eingesetzt, er hat Kanäle gebaut und Flüsse reguliert.

Der König in der Arbeit

Der König war ein Feind vieler Worte und langer Reden. Seinen Ministern hat er einmal befohlen, wenn sie sich in 6 Minuten nicht einigen könnten, so hätten sie die Diskussion sofort abzubrechen und ihm die Sache zur Entscheidung vorzulegen. Das war die Zeit, in der die Turmuhren als kleinstes Zeitmaß die Viertelstunden angaben. Von seinen Geheimräten sagte der König, sie könnten — wenn sie fleißiger wären — in drei Stunden die laufenden Arbeiten erledigen. Wenn sie sich aber Geschichten erzählen und Zeitungen lesen, dann wäre der ganze Tag nicht lang genug. Er verlangte die größte Pünktlichkeit in der Erledigung der eiligen Sachen, und seinen geheimen Finanzräten befahl er, sie sollten auch selbst arbeiten und nicht glauben, sie wären nur zum Ansehen da.

Der König war ein Fanatiker der Arbeit. Er ärgert sich, daß die Bauernfrauen mit je einer Milchkanne auf ihren Wägelchen nach der Stadt fahren und einen ganzen Arbeitstag verlieren. Es soll von jedem Dorf nur ein Wagen nach der Stadt fahren und die Frauen fleißig zuhaus arbeiten. Das gleiche verlangt er beim Verkauf der Wolle auf den großen Wollmärkten, wo es immer sehr lustig zuging. Die Bauern sollen sich einen Vertrauensmann suchen, der für sie das Geschäft abschließt und selbst zuhause bleiben, arbeiten und kein Geld im Wirtshaus ausgeben. Damit hat er aber keinen Erfolg gehabt. Die Leute wollten nicht nur arbeiten, sondern sich auch amüsieren.

Frauen und Mädchen auf dem Lande sollen spinnen. Von den Frauen seiner Soldaten verlangt er es ganz besonders. Obwohl er der Kriegsherr und Soldatenkönig ist, macht es ihm gar nichts aus, seine Soldaten auch auf der Wache spinnen und Strümpfe stricken zu lassen. Er glaubte, daß sein Volk von Natur faul sei und nur gezwungen arbeite.

Er konnte auch nicht das Land müßig sehen; wüste Stellen machten ihn traurig, weil sie ihm und seinem Land nichts nützten.

Selbst vor den Friedhöfen macht er nicht halt, auf ihnen müssen Maulbeerbäume gepflanzt werden. Einmal im Monat müssen die Pastoren von der Kanzel ihre Gemeinde über die Seidenraupenzucht unterrichten.

Er verlangt viel von den andern, aber noch mehr von sich selbst.

Die Arbeitsweise des Königs

Immer wieder staunt man über die Arbeitskraft des Königs. Er brauchte sehr wenig Schlaf. Erholung suchte er bei den Künsten, der Musik, der Poesie und der Literatur. Für ihn gab es keine „Kleinigkeiten", er ging tief in Einzelheiten ein. Die schnelle Entschlußfähigkeit, die er, wie wir sahen, auch von den anderen verlangte, war ihm im Krieg wie im Frieden eigen. Er war der Feind vieler Worte. Er liebte die Zahl als kürzesten Ausdruck für Tatsachen. Bei seinen Reisen verlangte er genaue Antwort auf seine Fragen. „So viele Menschen, so viele Pferde, Kühe sind da. Soviel Korn von jeder Art wird in guten, mittleren und schlechten Jahren gewonnen, soviel wird gebraucht zur Konsumtion und soviel bleibt übrig zum Verkauf". Und so ging es weiter. In gleicher Weise befragte er seine Kaufleute und Industriellen. Er liebte die Statistik.

Als ihn nach den sieben furchtbaren Kriegsjahren im Schloß seine Minister, die Vertreter der Provinzen und andere hohe Staatsbeame feierlichst mit langen Reden begrüßen und ihn rühmen wollten, da unterbrach er schon den ersten Redner mit den Worten „Habt Ihr Crayons?" Und dann diktierte er den verdutzten hohen Herren einen nüchternen, aber sehr ausführlichen Fragebogen und befahl ihnen, ihn bis zum anderen Tage mittags so gut es ging zu beantworten. Mit dem ausgefüllten Fragebogen sollten sie zu ihm kommen, und auf Grund dieser Angaben würde er entscheiden, wie er ihnen helfen könnte.

Der König als Realpolitiker

Der König tut das, was ihm gegebenenfalls nach dem gesunden Menschenverstand zur Zeit das Zweckmäßigste ist. Es stört ihn durchaus nicht, in einem Fall so und im anderen anders zu handeln. Oberstes Gesetz ist ihm immer: wie kann ich mein Land weiterbringen, wie kann ich den Menschen helfen, voranzukommen. Hier ist ihm nichts zu unbedeutend. Er sieht die Zusammenhänge und kümmert sich wie ein großer Volkswirt um alles. Es ist verblüffend, aus seinen Befehlen an die Minister und aus seinen Erlassen zu sehen, wie weitgehend er die denkbar verschiedensten Dinge wirklich beherrschte.

Der König war ungemein mißtrauisch. Was er nicht selbst gesehen und geprüft hatte, glaubte er nicht. Man hat zuweilen gesagt, die vielen Zahlen, die er sich geben ließ, wären oft zurechtgemacht gewesen. Gewiß wird auch das vorgekommen sein. Aber der König reiste trotz Podagra und Gicht in ungefederten Wagen auf schlechtesten Straßen sehr viel in seinem Lande umher, und er verstand zu fragen. Kamen da Widersprüche zutage, so konnte wohl des Königs Krückstock ohne Rücksicht auf Rang und Stand in Tätigkeit treten. Ungetreuen Beamten war Festung und Zuchthaus sicher.

Der König als Erzieher zur Arbeit für das Gemeinwohl

Vom Großen Kurfürsten rühmte Friedrich das Wort: „Am Vaterlande nicht verzweifeln, sondern dem Verderben den Mut entgegenwerfen." Je älter er wurde, um so mehr beschäftigten ihn Fragen der Erziehung. Ihm war die Arbeit für den Staat zur selbstverständlichen Pflicht geworden, er verlangte das gleiche von seinem ganzen Volk. Der König hat aber nicht nur die Pflicht zur Arbeit so stark betont, er suchte auch dem Anspruch auf Arbeit zu genügen und hat — wie wir sahen — auf den denkbar verschiedensten Gebieten immer neue Arbeitsgelegenheiten geschaffen. Als er noch kurz vor seinem Tode sich um die Akademie der Künste bemühte, dachte er hier zuerst an das Kunstgewerbe. Die Akademie sollte zur Kunstschule für Gewerbetreibende werden. Auch für die höhere technische Ausbildung hat sich der König bereits eingesetzt. Aber er verlangte hierfür eine sorgfältige Auswahl. „Tumme Teufels müssen sich darunter ebensowenig, als Windbeutels einschleichen." 1772 schreibt er: „Je älter man wird, und je mehr man den Schaden erkennt, den eine vernachlässigte Jugenderziehung der Gesellschaft bringt, um so mehr bemüht man sich auf alle mögliche Weise, diesem Übelstand abzuhelfen. Ich reformiere die Schulen, die Universität und selbst die Landschulen, aber 30 Jahre wird es dauern, bis man die Früchte sieht. Ich werde mich nicht ihrer mehr freuen können, aber ich werde mich trösten in dem Gedanken, meinem Vaterland einen Vorteil verschafft zu haben, der ihm bis jetzt abging."

Der König hat sich auch mit den pädagogischen Fragen seiner Zeit beschäftigt. Von Rousseau und seinem Einfluß wollte er nichts wissen. Für die Flucht aus der Gegenwart und aus der Gesellschaft hatte er kein Verständnis. Auf die Bildung des Charakters und des Geistes legte er den größten Wert. Die Eltern sollen es ihren Kindern beibringen, daß sie nicht in der Welt sind, nur um zu genießen und bequem zu leben. In erster Linie aber verlangte er, man solle die Menschen zum selbständigen Denken und Urteilen erzielen. Sie sollten fähig sein, eigene Gedanken in klarer Form richtig zu entwickeln. Die Erziehung, die das zuwege bringe, sei die beste.

An dem damals bestehenden Unterricht tadelte er, das Gedächtnis werde zu ausschließlich und einseitig in Anspruch genommen. Was man nur auswendig gelernt habe, vergäße man schnell wieder, sobald die Schule hinter einem liege. Verstand und eigenes Urteil zu üben, das sei die Hauptsache. Der König pflegte in diesem Sinne zu sagen „wer am besten raisonniren kann, wird immer zum weitesten kommen, besser als der, der nur falsche Schlüsse ziehet". Kant hat in seiner berühmten kleinen Schrift vom Jahr 1784 „Was ist Aufklärung" hierüber gesagt: „Ich höre von allen Seiten rufen: räsonniert nicht! Der Offizier sagt: räsonniert nicht, sondern exerziert! Der Finanzrat: räsonniert nicht, sondern bezahlt! Der Geistliche: räsonniert nicht, sondern glaubt! Nur ein einziger Herr in der Welt sagt: räsonniert so viel ihr wollt, aber gehorcht!"

Großen Wert hat der König auf die Geschichte gelegt. Aber „man soll nur das lehren, was zu wissen notwendig ist, und sich um das übrige nicht kümmern". Er legt auf die kulturgeschichtliche Seite besonderen Wert. Der Schüler soll lernen, Altes und Neues zu vergleichen. Gedanken aber über die wichtigsten Tatsachen solle man dem Schüler nicht aufdrängen, sie sollen in seiner Seele entstehen. Selbständige Menschen brauchte der König für die Zukunft seines Landes. Die Schulen sollten deshalb mithelfen, die Jugend zu arbeitsfrohen charaktervollen Menschen, aber nicht zu bloßen Vielwissern zu erziehen.

Die Person des Königs

Friedrich der Große war Staatsmann, Diplomat, Feldherr, Unternehmer, Industrieller, Volkswirt, alles in einer Person. Er beschreibt als Historiker seine Taten, er komponiert Märsche, er dichtet und philosophiert. In ihm finden wir die stärksten Gegensätze nebeneinander. Die einen rühmen seinen leichten frohen Sinn, die andern sprechen davon, wie er in seinem Schmerz wühle. Aufwallende Gefühlswärme steht neben eisiger Kälte, hinreißende Begeisterung neben ätzendem Spott. Oft finden sich schroffe Übergänge von einem zum andern.

Aber ist denn alles groß, gut und zweckmäßig gewesen, was Friedrich II. tat? Ist jede Kritik unberechtigt? Keineswegs. Die Großen sind unter den Menschen zu dünn gesät, als daß wir uns den Luxus zu oft erlauben sollten, große Menschen unter die Götter zu versetzen. Menschen aber sind den Irrtümern unterworfen, und auch der große König hat oft und schwer geirrt. Aber die Kritik seiner Maßnahmen, die besonders heftig nach seinem Tode einsetzte und die bis in unserer Zeit nicht verstummt ist, hat es sich doch zuweilen gar zu leicht gemacht. Ebensowenig wie der König, wenn er heute Krieg zu führen hätte im Zeitalter der Maschinengewehre, Flugzeuge und



Friedrich der Große um 1780

Tanks die gleichen Anordnungen in der Schlacht getroffen hätte wie in seiner Zeit, ebensowenig kann man annehmen, daß er angesichts ganz anders gearteter wirtschaftlicher Verhältnisse heute alle seine früher getroffenen Maßnahmen einfach wiederholen würde. Der große Mensch muß aus seiner Zeit heraus beurteilt werden, wenn man ihm gerecht werden will. Auch in dem tätigen Leben unserer Zeit weiß man, wie es niemand beschieden ist — er mag so hoch stehen wie er will — irrtumslos seine Bahn zu gehen. Man weiß aber auch, daß die großen Erfolge nicht denen zufallen, die sich ihre Entschlußfähigkeit durch die ständige Sorge um den richtigen Weg allzusehr einschränken lassen, sondern denen, die — geleitet von einer sie beherrschenden Idee — selbst auf die Gefahr hin zu irren, unablässig schaffend tätig sind. Nicht wer immer vorsichtig nur wägt, sondern wer entschlossen auch wagt, ist zum Führer des Lebens geschaffen.

In den letzten Jahren seines Lebens hat der König mit großem Nachdruck immer wieder versucht, sein ganzes Volk zum Staat zu erziehen. 1779 schreibt er: er wolle sich glücklich wünschen und glau-

ben, seine Zeit nicht verloren zu haben, wenn er von tausend Menschen auch nur einen überzeuge. Und der Kern aller dieser Gedanken, die er in die Köpfe seiner Preußen eingegraben wissen wollte, war der, „... daß ein Staat, von welcher Art er auch sein mag, nicht bestehen kann, wenn nicht alle Bürger einmütig ihr gemeinschaftliches Vaterland zu erhalten suchen".

Der Generalnenner, auf den Friedrich der Große alles bezog, war das Gemeinwohl.

Schrifttum

Aus dem umfangreichen Schrifttum sind nur einige Werke genannt, die weitere ausführliche Quellenangaben zu den einzelnen Fragen enthalten.

Bülau, F.: Die deutsche Geschichte in Bildern. 3 Bde. Dresden 1856.

Cauer, Eduard: Zur Geschichte und Charakteristik Friedrichs des Großen. Breslau 1883.

Duncker, Max: Aus der Zeit Friedrichs des Großen und Friedrich Wilhelms III. Leipzig 1876.

Kannegießer: 300 ausgewählte Briefe Friedrichs des Großen. (Reclam-Bibl.)

Koser, R.: König Friedrich der Große. 4 Bde. 1925.

Matschoß, C.: Die Entwicklung der Dampfmaschine. 2 Bde. Berlin 1908.

Matschoß, C.: Friedrich der Große als Beförderer des Gewerbfleißes. Berlin 1912.

Matschoß, C.: Preußens Gewerbeförderung und ihre großen Männer. Berlin 1921.

Preuß: Lebensgeschichte Friedrichs des Großen. Berlin 1832/34.

Ködenbeck, K. H. S.: Beiträge zur Bereicherung und Erläuterung der Lebensbeschreibungen Friedrich Wilhelms I. und Friedrichs des Großen. 2 Bde. Berlin 1836.

Volz, G. B.: Friedrich der Große im Spiegel seiner Zeit. 3 Bde. Leipzig 1926/27.

Oeuvres de Fréderic le Grand. Hrsg. von der Berliner Akademie der Wissenschaften. 31 Bände. Berlin 1846—57.

Die Werke Friedrichs des Großen. Hrsg. von Berthold Volz. In deutscher Übersetzung. 10 Bde. Mit Illustrationen von Adolph v. Menzel. Berlin 1912—14.





Otto von Guericke

geb. 30. November 1602 in Magdeburg
gest. 21. Mai 1686 in Hamburg

Otto von Guericke als Physiker*)

Von *R. W. Pohl*, Göttingen**)

Vor 250 Jahren ist *Otto von Guericke*, 84 Jahre alt, in Hamburg gestorben. Es war nach unserem Kalender am Dienstag, den 21. Mai 1686, nachmittags um 3 Uhr. 10 Tage darauf ist Guericke in der Hamburger Nikolaikirche beigesetzt worden, und zwar mit dem feierlichen Gepränge eines Staatsbegräbnisses. Alle Einzelheiten, vor allem natürlich die Rangordnung des Trauergefolges, sind uns genau überliefert.

Später hat man die sterblichen Reste Guerickes in eine Kirche nach Magdeburg überführt. Auch dort haben sie keine Ruhe gefunden. Die Kirche wurde 1806 beim Einbruch der Franzosen in ein Lazarett verwandelt und der Inhalt der Grüfte achtlos verstreut.

Magdeburg ist die Heimat Guerickes und seiner Vorfahren gewesen. Guericke war ein Niedersachse. Es sind mehrere Bilder von ihm erhalten geblieben. Er beschreibt sein Gesicht selbst als schmal und seine Haare als blond.

Guerickes Leben ist eng mit dem Schicksal Magdeburgs verknüpft. Endgültig hat er diese Stadt erst drei Jahre vor seinem Tode verlassen, in bitterem Unmut über die dortige Steuerbehörde und aus Furcht vor einer herannahenden Seuche.

Guericke hat eine weltmännische und umfassende Ausbildung genossen. Sein Vater war weit auf der Erde herumgekommen, in polnischen Diensten als Gesandter nach Konstantinopel, und nach Moskau an den Hof Iwans des Schrecklichen. Er ließ daher auch den Sohn Europa bereisen und nicht nur in Deutschland, sondern auch im Ausland studieren, und zwar zunächst Jurisprudenz, später Ingenieurwissenschaft und Mathematik.

In dieser Weise ausgebildet, wurde Otto von Guericke etwa 25-jährig in den Rat der Stadt Magdeburg berufen. Sein Arbeitsgebiet war das städtische Befestigungswesen. In dieser amtlichen Stellung erlebte er die Belagerung und 1631 die Erstürmung Magdeburgs durch die Kaiserlichen unter *Tilly*. Er sah die Vernichtung der blühenden Stadt und alle Greuel der Plünderung durch eine wild gewordene

*) Vortrag, gehalten auf der Jahresversammlung des Deutschen Museums in München, am 7. Mai 1936.

**) Der Verfasser ist o. ö. Professor der Experimentalphysik an der Universität Göttingen. Seine Untersuchungen betreffen vor allem den Mechanismus der Elektrizitätsleitung im Zusammenhang mit optischen Erscheinungen und die photochemischen Vorgänge in festen Körpern. Seine Veröffentlichungen aus den letzten Jahren finden sich größten Teils in den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math. Phys. Klasse.

Soldateska. Guericke rettete, nach seiner eigenen Schilderung dieser jammervollen Ereignisse, für sich und die Seinen buchstäblich nur das nackte Leben.

Seit 1632 beteiligte er sich an dem Wiederaufbau der Stadt, zunächst in schwedischen und danach wieder in städtischen Diensten. Er wurde erst Kämmerer und später Bürgermeister. Man betraute ihn mit vielen diplomatischen Missionen in den andauernden Wirren des Dreißigjährigen Krieges und seiner Folgen. Unter anderem vertrat er seine Heimatstadt 1648 erfolgreich in den Friedensverhandlungen zu Münster und Osnabrück.

Persönlich gelangte er während seiner politischen Tätigkeit wieder zu Wohlstand, vor allem durch Einschränkung der Ausgaben. So erwirkte er für sich und alle seine weiblichen Nachkommen lebenslängliche Befreiung von allen „bürgerlichen Lasten, Auflagen, Kontributionen, von Haus- und anderen Steuern, von Akzisen, Warten, Nachbarrechten, Diensten und wie das alles sowohl als steuerliche Abgaben wie auch als freiwillige Spenden, als Opfer an Sachwerten und persönlichen Leistungen begriffen und gezählet sein mag“.

Seit etwa 1660 hat sich Guericke mehr und mehr von amtlicher Tätigkeit zurückgezogen und sich der zusammenfassenden Bearbeitung seiner wissenschaftlichen Ergebnisse gewidmet. Denn das ist

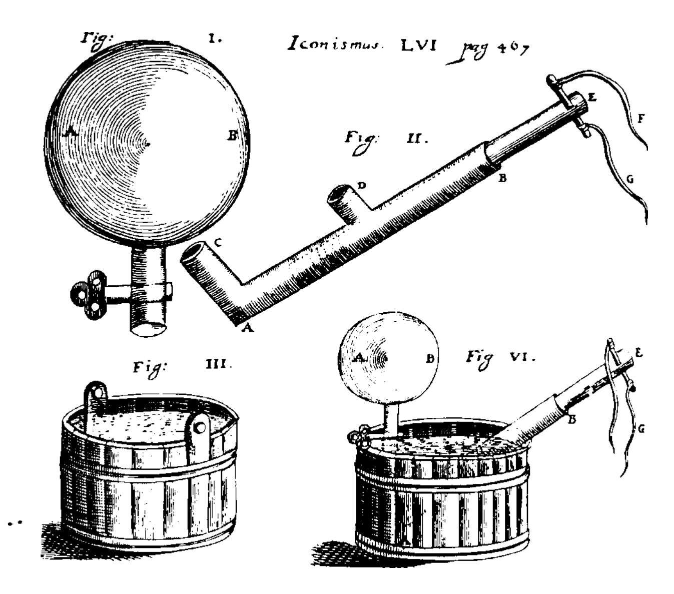


Abb. 1. Guerickes Luftpumpe
Nach Caspar Schott

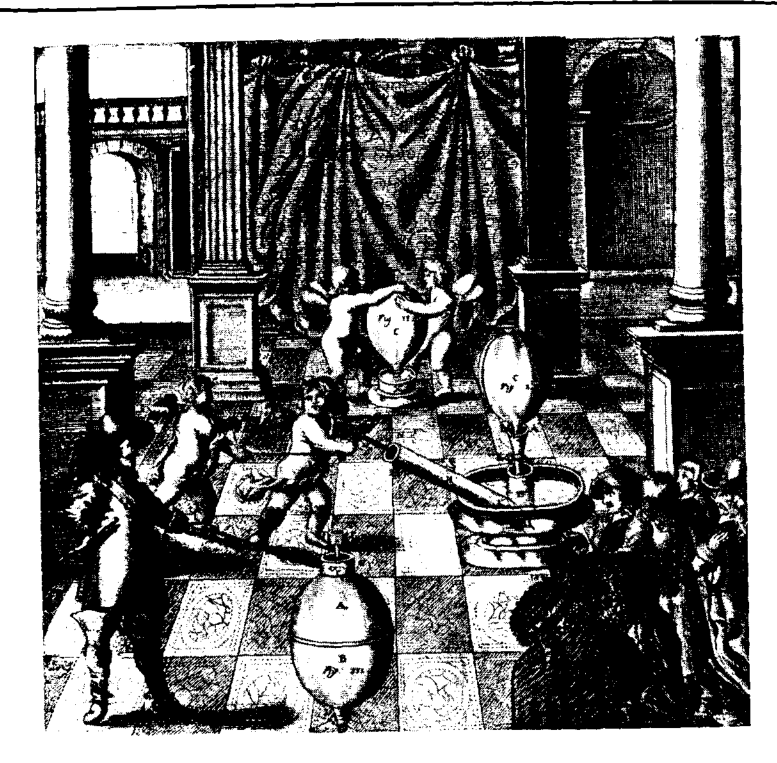


Abb. 2. Guerickes Luftpumpe im Betrieb
Nach Caspar Schott

wohl das Erstaunlichste im Leben dieses bedeutenden Mannes: Guericke hat seine großen wissenschaftlichen Leistungen, die seinen Ruhm bei Mit- und Nachwelt begründet haben, nicht in Jahren gelehrter Muße vollbracht, sondern neben und während seiner aufreibenden amtlichen und politischen Tätigkeit.

Wir wenden uns jetzt den wissenschaftlichen Leistungen Guerickes zu und suchen sie durch ein paar Bilder und Vorführungen zu erläutern.

Guericke hat die Luftpumpe erfunden. Das weiß heute jeder Schuljunge. Das erste Bild, Abb. 1, sichert uns Guerickes Priorität. Es stammt aus dem Jahre 1657. Es findet sich in einem Werk des Jesuitenpaters *Caspar Schott* aus Würzburg. Wir sehen auf diesem Bilde die wesentlichen Teile: Zylinder, Kolben, Saug- und Druckventil. Zur Abdichtung dient Wasser, der größte Teil der Pumpe wird in einen Kübel getaucht. In der Abb. 2 finden wir die Pumpe in Betrieb. Die kleinen Laboranten sind sich über den Zweck der Wasserdichtung

nicht ganz im klaren, der Kübel ist viel zu klein. Aber wir dürfen ihnen das nicht verübeln, auch ihr Chef, der gelehrte Verfasser des Buches, ist weit entfernt von der physikalischen Einsicht, die Guericke eigen war.

Diese Ausführung der Pumpe hat Guericke im Frühjahr 1657 auf dem Reichstag zu Regensburg vorgeführt. *Ferdinand III.* kaiserliche Majestät und alle anwesenden Kurfürsten haben an Guerickes Versuchen „ein gar gnädigstes Vergnügen gehabt".

Guericke pumpte eine Glaskugel aus. Während des Pumpens trat lebhafte Nebelbildung auf. Dabei zeigten sich im Sonnenlicht glän-

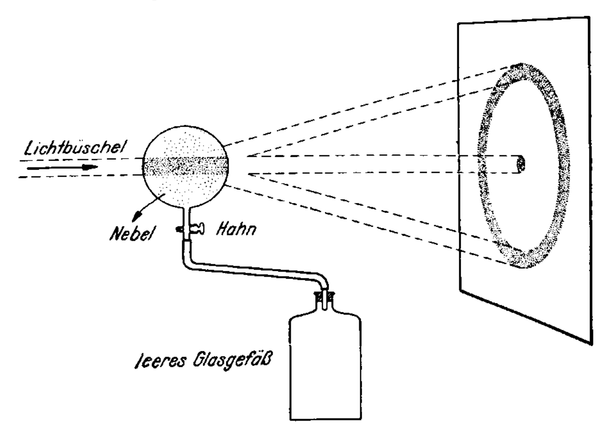


Abb. 3. Vorführung der Nebelbildung beim Auspumpen eines Gefäßes mit feuchter Luft und der dabei auftretenden bunten optischen Beugungsringe

zende farbige Ringe. Guericke verwies auf die Bedeutung dieser Versuche für die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre. Zur Zeitersparnis verfuhr er ebenso wie wir hier bei der Vorführung: Er bediente sich eines Hilfsvakuums, eines großen, zuvor luftleer gepumpten Gefäßes, Abb. 3.

Die luftleere Kugel war leichter als die mit Luft gefüllte, so wurde das Gewicht der Luft nachgewiesen, Abb. 4.

Beim Öffnen des Hahnes konnte die Kugel unter Pfeifen und Zischen Luft oder Wasser in sich hineinziehen, s. a. Abb. 2, im Hintergrund.

Und endlich der Knalleffekt, der auf vielfachen Wunsch oft wiederholte Versuch: Ein unrundes Gefäß wird beim Auspumpen unter großem Krach platt gedrückt.

Der Ruf dieser Experimente verbreitete sich rasch in ganz Europa. In England wiederholte *Robert Boyle*, einer der Gründer der Royal

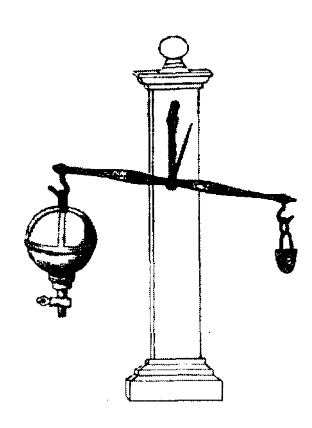


Abb. 4. Messung des Gewichtes der Luft durch Otto von Guericke, nach seinem Bilde aus dem Jahre 1672

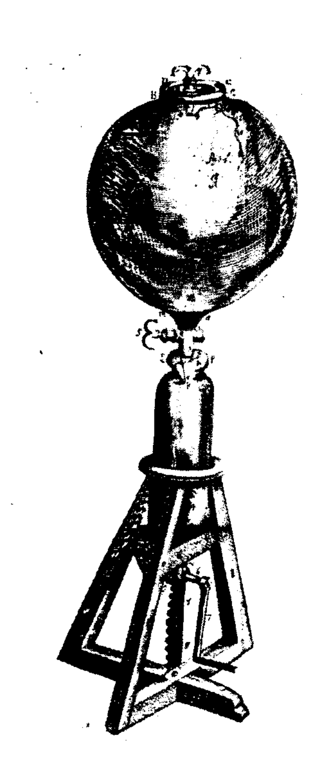


Abb. 5. Luftpumpe von Robert Boyle1659

Society diese Versuche und beschrieb 1660 eine etwas handlichere Ausführungsform der Guerickeschen Pumpe, Abb. 5.

Guericke hat später etliches von dieser Bauart übernommen. Drei seiner Pumpen sind uns im Original erhalten geblieben, wir sehen in Abb. 6 die des Deutschen Museums und folgend ein von Guericke herrührendes Bild, Abb. 7.

Guericke hat erst als 70-jähriger selbst etwas über seine Versuche veröffentlicht. 1672 erschien in Amsterdam sein Werk: „Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio". — Schon wenige Monate nach dem Erscheinen schrieb ihm *Christine* von Schweden, damals schon als Exkönigin in Rom, sie habe das Buch von A bis Z mit ungewöhnlicher Aufmerksamkeit und Freude durchgelesen. Das zeigt uns, wie weite Kreise sich für Guerickes physikalische Entdeckungen interessierten.

Das Buch gibt uns den ganzen Umfang von Guerickes physikalischem Wissen. Guericke lehnt alles spekulative Geschwätz über den

leeren Raum ab, er ist sich völlig über das Wesen des Luftdruckes im klaren. Er weiß, daß die Luft nur durch ihr Gewicht gehindert wird, die Erdkugel zu verlassen und in den leeren Weltenraum hinauszuströmen. Er weiß, daß wir am Boden eines Luftozeanes leben, daß der Luftdruck mit steigender Höhe abnimmt. Er weiß, daß die Dichte der Luft am Boden am größten ist, weil die oberen Schichten mit ihrem Gewicht auf den unteren lasten.

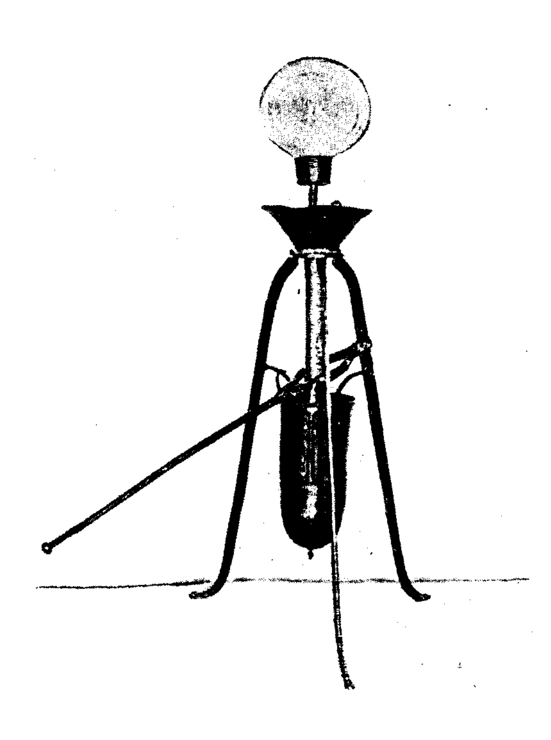


Abb. 6. Original-Luftpumpe Otto von Guerickes aus dem Besitz des Deutschen Museums in München

All das machen wir uns heute in unserem atomistischen Bilde mit einem einfachen Modellversuch klar. Dieser ersetzt die Luftmoleküle durch kleine Stahlkugeln und ihre Wärmebewegung durch mechanische Stöße. So können wir in intermittierender Beleuchtung eine Folge ständig wechselnder Momentbilder sehen, Abb. 8. Immer nimmt die Luftdichte von unten nach oben ab, und oben fehlt eine scharfe Grenze. — Es ist das anschauliche Bild dessen, was der Schüler als logarithmische Barometerformel zu lernen hat.

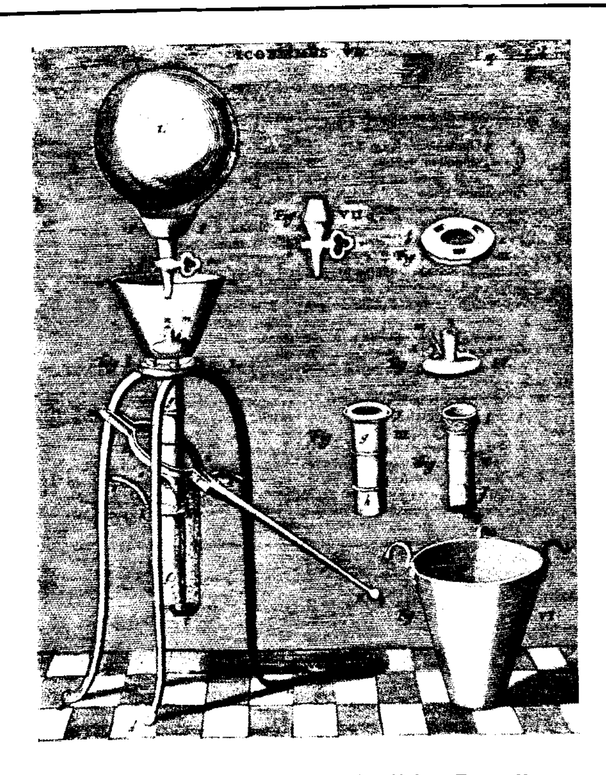


Abb. 7. Guerickes 1672 veröffentlichte Darstellung seiner Luftpumpe

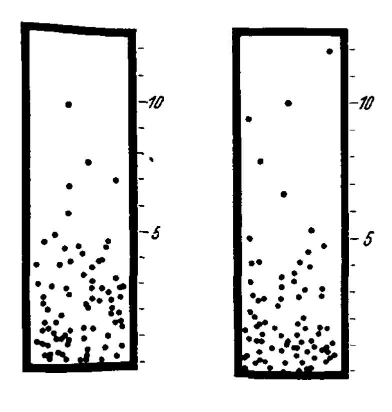


Abb. 8. Veranschaulichung der Verteilung der Luftmoleküle in der Atmosphäre durch einen Modellversuch

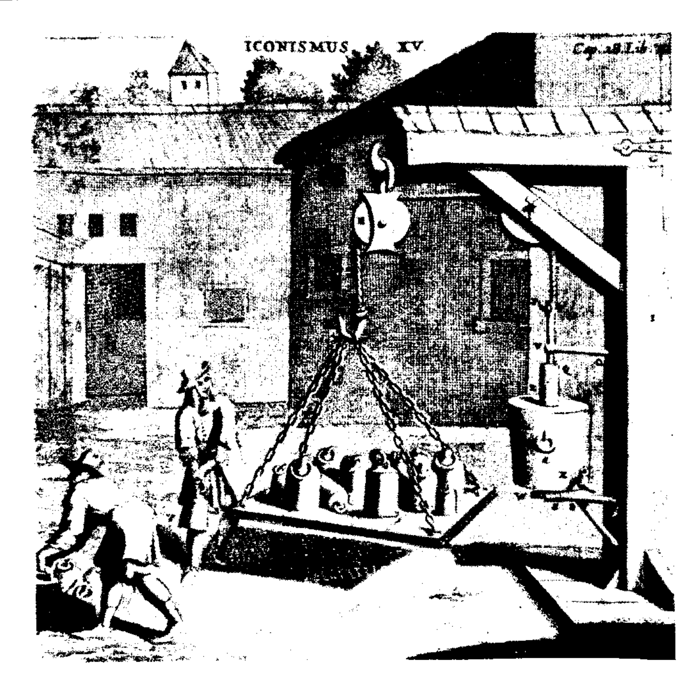


Abb. 9. Messung der vom Luftdruck hervorgerufenen Kräfte durch Otto von Guericke

a Zylinder, R Kolben, X Hahn zum Auspumpen des Zylinders

Es folgt eine kurze Zwischenbemerkung. Die Höhe unserer Modellatmosphäre kann an einem mitprojizierten Maßstab abgelesen werden. Diese Beobachtung hat für jeden Sportbegeisterten etwas Tröstliches. Täglich lesen und hören wir von neuen Höchstleistungen. Keine Zeitung, die nicht mindestens einen neuen Rekord zu melden hätte. Kann bei diesem regen Verbrauch an Rekorden der verfügbare Bestand nicht einmal erschöpft werden? Können nicht durch Raubbau die Rekorde „alle werden", wie die Grönlandwale und in absehbarer Zeit die Braunkohle?

Solchen bangen Fragen wird hier ein sicherer Trost. Unser Versuch in Abb. 8 gibt uns den Typ einer statistischen Massenbeobachtung. Wir sehen immer ein Luftmolekül, das am höchsten kommt. Oft wird der 10. Teilstrich überflogen, seltener der 11., ganz selten der 12. usf. Jeder aufgestellte Höhenrekord aber wird mit Sicherheit einmal überboten. Wir haben nur lange genug zu warten, oder die Zahl der eingesetzten Individuen zu vergrößern. Rekorde werden nie „alle",

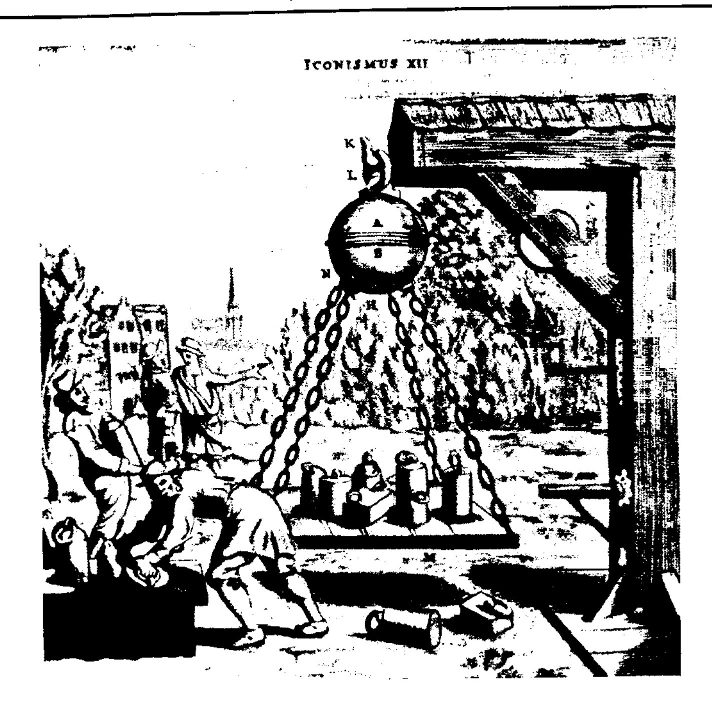


Abb. 10. Messung der vom Luftdruck hervorgerufenen Kräfte durch Otto von Guericke. Die beiden „Magdeburger Halbkugeln“ A und B werden durch eine Kraft bekannter Größe getrennt

diese Sorge um das Schicksal derer, die nach uns kommen, ist überflüssig.

Doch zurück zu Guericke. Guericke war das atomistische Bild noch fremd. Wir brauchen es aber in einem späteren Zusammenhang.

Guericke beherrschte die quantitative Seite seiner Versuche vollkommen. Er konnte die Größe der vom Luftdruck erzeugten Kräfte sicher berechnen und mit seinen Messungen vergleichen. Abb. 9 und 10 bringen zwei Beispiele solcher Messungen. In beiden Fällen handelt es sich um luftleere Gefäße, in Abb. 9 von Zylinderform, in Abb. 10 von Kugelgestalt. Abb. 10 zeigt die allbekannten Magdeburger Halbkugeln. Bei der Messung wird die eine Halbkugel an einen Haken gehängt, an der anderen greift die Kraft an. Das ist ernsthafte Physik.

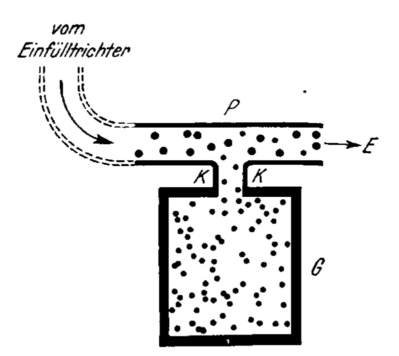
Guericke wußte aber auch effektvolle Schauversuche zu veranstalten. Es kam ihm gelegentlich darauf an, hochgestellte und maßgebende Kreise zu interessieren. Diesen war aber nicht immer ein besonderes physikalisches Verständnis zu eigen, und in solchen Fällen

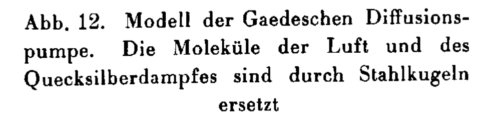
appellierte Guericke an die naive Freude, die einfache Gemüter über große Zahlen empfinden. Guericke konnte eine luftleere Kugel bestimmter Größe mit 8 Pferden, die er vor die eine Hälfte spannte, auseinanderreißen, auf der anderen Seite genügte ein Haken an einer Wand. Für Vorführungszwecke aber ließ er es sich etwas kosten. Er ersetzte den Haken in der Wand durch 8 weitere Pferde. So konnte er 16 Pferde als Maß für die Leistungen seines Luftdruckes vorführen, Abb. 11. — Oft hört man, Guericke habe diesen Versuch in Regensburg dem Reichstag vorgeführt; dem widersprechen aber sichere historische Angaben.

250 Jahre hat die gelehrte Welt in ihren Laboratorien und die Technik in ihren Werken Luftpumpen benutzt, die nur technische Fortbildungen der Guerickeschen Pumpe waren. Alles Wesentliche war schon von Guericke angegeben worden, die Form der Hähne und Schliffe, das Hahnfett als Dichtungsmaterial, die Hilfssteuerung der Ventile bei kleinen Drucken usw.



Abb. 11. Vorführung der Magdeburger Halbkugeln durch Otto von Guericke in einem die Zuschauer bluffenden Schauversuch




Abb. 12. Modell der Gaedeschen Diffusionspumpe. Die Moleküle der Luft und des Quecksilberdampfes sind durch Stahlkugeln ersetzt

Es hat bis in die Jahre des Weltkrieges gedauert, ehe es einem Physiker gelang, grundsätzlich über das von Guericke Erreichte hinauszukommen und für den Bau von Luftpumpen ein ganz neuartiges Prinzip zu ersinnen. Wieder war es ein Deutscher, *Wolfgang Gaede,* damals noch Ordinarius für Experimentalphysik in Karlsruhe.

Gaede hat die Diffusionspumpe geschaffen. Diese entstand aus unserer Kenntnis vom atomistischen Aufbau der Luft und der übrigen Gase. Wir erläutern die Wirkungsweise der Gaedeschen Diffusionspumpe durch einen Modellversuch, der die Gasmoleküle wieder durch Stahlkugeln ersetzt.

Oben sehen wir in Abb. 12 das auszupumpende Glasgefäß. Es ist durch ein Rohr mit der „Pumpe“ verbunden. Diese besteht aus einem Glasrohr, durch das ein Strom von Quecksilberdampf, hier nachgeahmt durch einen Strom größerer Stahlkugeln, hindurchfließt. Wir sehen die Luftmoleküle des Glasgefäßes durch ihre Wärmebewegung in den Quecksilberdampfstrom hineindiffundieren. Der Schwarm der Quecksilbermoleküle führt sie mit sich fort, und das Glasgefäß entleert sich vor unseren Augen. (Bei den technisch ausgeführten Pumpen diffundieren selbstverständlich auch einige Quecksilbermoleküle in die Verbindungsleitung hinein. Dort verhindert man ihr weiteres Vordringen durch eine starke Abkühlung der Rohrwände, die Dampfmoleküle werden an den Wänden niedergeschlagen.) Am freien Ende E der Diffusionspumpe haben wir uns eine alte Guerickesche Pumpe als Vorpumpe angeschlossen zu denken.

Diese gemeinsame Benutzung der alten Guerickeschen und der neuen Diffusionspumpe hat technisch eine ganz große Bedeutung gewonnen. Das wird in besonders eindrucksvoller Weise durch die heute eröffnete Sonderschau des Deutschen Museums vorgeführt. Sie zeigt uns eine Anwendung dieser Pumpen auf den mannigfachsten Gebieten. Hier soll nur ein Beispiel erwähnt werden, die Bedeutung der Pumpen

für unsere heutige Fernmeldetechnik. Die großartige Entwicklung dieser Technik seit den Kriegsjahren ist jedermann bekannt. Sie beruht auf der Anwendung der Elektronenröhren mit Gittersteuerung. Mit diesen Röhren baut man die Verstärker, die uns ein Fernsprechen auf beliebige Entfernungen ermöglichen. Die Elektronenröhren sind die wesentlichsten Bestandteile im Bau aller Sender und Empfänger des Rundfunkes. Ohne Elektronenröhren war weder das Problem der Fernbildübertragung noch des Fernsehens zu lösen.

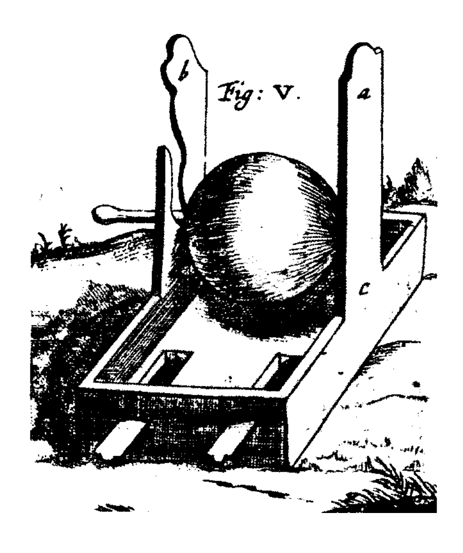


Abb. 13
Guerickes Darstellung seiner Reibungselektrisiermaschine, 1672 veröffentlicht

Gaedes Diffusionspumpe, als Ergänzung der alten Guerickeschen Pumpe und gemeinsam mit dieser benutzt, hat die Fernmeldetechnik der ganzen Welt in entscheidender Weise gefördert. Diese physikalische Leistung ist auch von den maßgebenden Männern der Technik in vollem Umfange gewürdigt worden. Sie haben, zur freudigen Genugtuung aller Fachgenossen, vor zwei Jahren an Wolfgang Gaede die große Auszeichnung des Siemens-Ringes verliehen.

Soweit Guerickes Luftpumpe. Außer der Luftpumpe hat Guericke als erster eine Reibungselektrisiermaschine gebaut. Sie sehen sie in Abb. 13 in der Originalwiedergabe Guerickes und in der Sonderschau des Museums in einer getreuen Nachbildung. Es ist eine Schwefelkugel, die um eine Welle gedreht werden kann. Als Reibkissen diente die Hand.

Mit dieser Maschine hat Guericke eine Reihe sehr fein beobachteter Versuche angestellt. Einer von ihnen hat den Rang eines Fundamentalversuches erster Ordnung: Es ist Guerickes „Schwebeversuch".

Guericke lud mit seiner geriebenen Kugel eine Flaumfeder durch Berührung auf und ließ sie so frei im Zimmer schweben. Zunächst sehen Sie diesen klassischen Versuch im Original. Dann folgt in

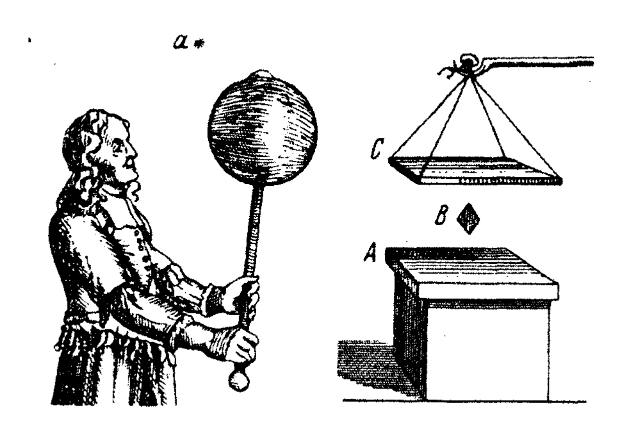


Abb. 14. Der Schwebeversuch Otto von Guerickes. Links in Guerickes Originaldarstellung aus dem Jahre 1672, rechts in einer 1746 von Benjamin Wilson veröffentlichten Arbeit. Wilson hat das radialsymmetrische elektrische Feld einer geladenen Kugel durch das angenähert homogene eines geladenen Plattenkondensators A C ersetzt, außerdem benutzt Wilson statt der Flaumfeder A bei Guericke einen Blattgoldfetzen B

(Entnommen aus: R. W. Pohl, Elektrizitätslehre, 4. Auflage, 1935)

Abb. 14 links die Darstellung dieses Versuches durch Guericke selbst. Rechts folgt dann eine Abart des Schwebeversuches, die 1746 von *Wilson* in England angegeben wurde.

Worin liegt die Bedeutung dieses Guerickeschen Schwebeversuches? Die Antwort ist leicht zu geben. Ersetzt man die Feder durch einen viel kleineren Körper, z. B. einen feinen Flüssigkeitstropfen und beobachtet dann messend, so findet man ein ganz grundlegendes Ergebnis: Die Ladung, die der kleine Körper als Elektrizitätsträger aufnehmen oder abgeben kann, ist stets ein ganzzahliges Vielfaches einer kleinsten nicht weiter teilbaren Ladung, des elektrischen Elementarquantums. Es hat die Größe $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Amperesekunden. Guerickes Schwebeversuch, quantitativ ausgeführt, hat später den wohl sinn-

fälligsten Beweis für den atomistischen Aufbau der elektrischen Ladung geliefert.

In Guerickes elektrischen Versuchen ist viel enthalten. Guericke widmet ihnen zwar nur zwei Druckseiten, aber man könnte stundenlang über die Einzelheiten berichten. Es stimmt schon, was der Physiker *George Matthias Bose* 1744 in seinem Lehrbuch der Elektrizitätslehre schreibt:

Mein Otto Guericke kam auf die rechte Spur
Durch einen neuen Pfad fast ganz bis zur Natur.
Er ließ ein Federchen frei in den Lüften schweben
Nachdem er selbigem vorher die Kraft gegeben.
Doch, großer Guericke, hier ließest Du es sein?
Drangst nicht in der Natur verborgnen Tempel ein?
Und warest im Begriff, das alles zu erlangen,
Womit Britannien und Frankreich jetzo prangen!

Ein Physikbuch in Versen wird die Leser seltsam berühren. Es hatte damit folgende Bewandtnis. Bose war ein bekannter Physiker an der Universität Wittenberg. Er hat den Einfluß der elektrischen Ladung auf die Oberflächenspannung entdeckt. Diese Erscheinung hat dann nachher in den ersten Zeiten der transozeanischen Kabeltelegraphie Anwendung gefunden.

Bose war von einer der zehn Schwestern Friedrichs der Großen, *Friederike Luise,* aufgefordert worden, ihr ein elektrisches Privatissimum zu lesen. So war eine richtige Prinzessin in Boses Hörsaal gekommen. Die Elektrizitätslehre in Versen ist der poetische Niederschlag dieses Erlebnisses.

Traurig war Boses späteres Schicksal. 1760 vernichteten Friedrichs des Großen Truppen sein Haus und seine physikalische Sammlung. Ihn selbst verschleppten sie als Geisel nach Magdeburg. Dort ist Bose in der Gefangenschaft zugrunde gegangen.

Den Schwebeversuch Guerickes sucht man heute vergeblich in allen deutschen Schulbüchern der Physik. Alle lassen die Elektrizitätslehre praktisch mit dem Franzosen *Coulomb* beginnen, der 1785 hervortrat. Coulomb hat gewiß Großes geleistet. Aber das gibt niemandem ein Recht, das nicht minder Große zu verschweigen, was seine deutschen Vorgänger entdeckt haben, den Schwebeversuch Guerickes und die Aufklärung der Influenz durch *Joh. Carl Wilcke.* Es ist höchste Zeit, daß hier ein Wandel geschaffen wird und wir Deutschen uns wieder auf die großen deutschen Leistungen 100 Jahre vor Coulomb besinnen. Guerickes Schwebeversuch soll in Zukunft in keinem Physikbuch für Schüler mehr fehlen.

Mit diesem Vorsatz verlassen wir die physikalischen Fragen und schließen mit ein paar Worten über Guericke als wissenschaftliche Persönlichkeit.

Was hat Guericke zu seinen Untersuchungen angetrieben? Er wollte sich Klarheit verschaffen über das Wesen des Raumes zwischen den Himmelskörpern. So kam er zur Pumpe.

Er wollte etwas erfahren über die Kräfte zwischen Erde und Mond, Sonne und Planeten. So geriet er auf die elektrischen Versuche mit der Schwefelkugel.

Er griff seine Fragen an durch Beobachtung und Experiment. Er haßte Spekulationen und leeren Wortkram. Lassen wir Guericke selber sprechen:

„Über die Ergebnisse der Geisteswissenschaften kann man streiten, denn ihnen fehlt die augenscheinliche Gewißheit, auf der die Stärke der mathematischen Wissenschaften beruht." — „In den Naturwissenschaften ist die Kunst der Rede ohne Bedeutung." — „Wo Tatsachen vorhanden sind, bedarf es keiner Worte."

In diesen Wochen wird man in der ganzen Kulturwelt Otto von Guerickes gedenken. Mit besonderem Stolz tun das wir Deutschen. Guericke war ein großer, lebensnaher Naturforscher, ein echter Mann, ein Mann nicht der Worte sondern der Tat.

Aus dem Deutschen Museum

Der luftleere Raum in Wissenschaft und Technik

Sonderschau des Deutschen Museums in München

Von Dr. Franz Fuchs, München

Anläßlich des 250. Todestages (21. Mai 1686) des Erfinders der Luftpumpe, des Bürgermeisters von Magdeburg, Otto von Guericke, hat die Museumsleitung eine Sonderschau eingerichtet, in der die Bedeutung der Erfindungs- und Forschungsarbeit Otto von Guerickes und ihre vielseitige Wirkung bis in die neueste Zeit gezeigt wird.

Neben Reichspost, Reichsbahn, den staatlichen und städtischen Archiven und Bibliotheken wurden der Ausstellung von rd. 50 Firmen Leihgaben zur Verfügung gestellt, die in eindrucksvoller Weise zeigen, was in den 250 Jahren aus der Erfindung Otto von Guerickes geworden ist.

Urkunden

Als persönliche Erinnerung an Guericke sind in verschließbaren Pultkästen ausgestellt: ein Brief vom Jahre 1649 an den Herzog Friedrich Wilhelm II. von Sachsen-Altenburg, in dem Guericke die „grausahme" Eroberung von Magdeburg schildert, der Originalbericht Guerickes an den schwedischen Statthalter von Magdeburg zum Wiederaufbau Magdeburgs mit einer Lichtbildwiedergabe des Planes, ein Brief Guerickes an Leibniz über das Ziel seiner Forschungen und die Handskizzen zu seinen Luftpumpenversuchen. Sein grundlegendes Werk „Experimenta Nova" liegt in drei gut erhaltenen Exemplaren aus; daneben befinden sich sein Briefwechsel mit den Verlegern, die Entwürfe für das Titelblatt und die Widmungen. Auch die zeitgenössischen Werke von Caspar Schott, der zuerst die Guerickeschen Versuche veröffentlichte, die Werke über die Weiterentwicklung der Luftpumpe von Boyle, Papin, Senguerd, Sturm, Hawksbee, Smeaton, Leupold, 's Gravesande liegen aus. Ein Wandfries, in dessen Mittelpunkt drei Porträts von Guericke, darunter das schönste Guericke-Bildnis von van Hulle angebracht sind, zeigt die vergrößerten Bilder aus seinem Werk.

Die Guerickeschen Versuche

Die berühmten Versuche Guerickes mit dem Pumpenstiefel, den Magdeburger Halbkugeln, dem Doppelkugelapparat, die Wägung der Luft, die Nebelbildung, das Erlöschen der Kerze, die Ausdehnung der in einer elastischen Blase eingeschlossenen Luft und das Aufhören der Schallfortpflanzung im luftleeren Raum usw. werden an betriebsfähigen Geräten vorgeführt. Guerickes Baroskop, sein Thermometer und seine Elektrisiermaschine mit Schwefelkugel sind in Nachbildungen zu sehen.

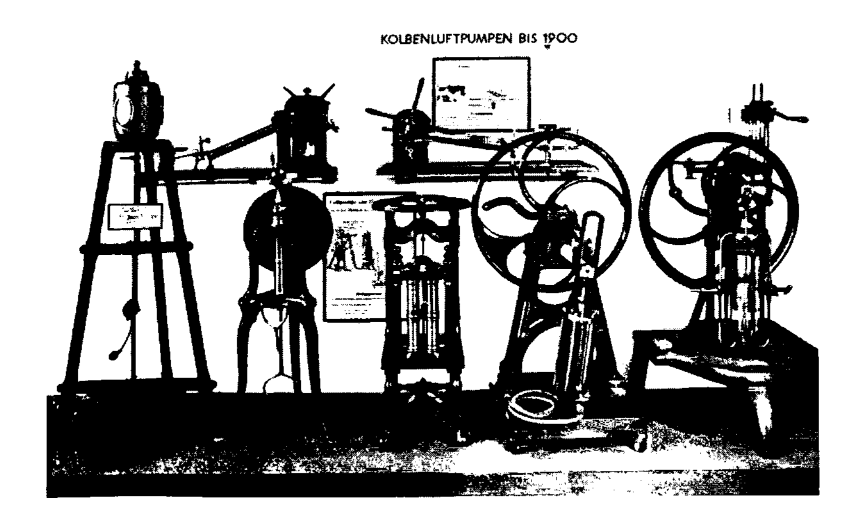


Abb. 1. Untere Reihe von links nach rechts: Luftpumpen von Boyle, Abbé Nollet, Hawksbee, Bianchi, Deleuil; obere Reihe: van Musschenbroek und Brander

Die Entwicklung der Luftpumpe

An die im Mittelpunkt des Saales neben den Original-Halbkugeln und dem Pumpenstiefel aufgestellte Originalluftpumpe Guerickes (Umschlagbild) schließen sich an: eine Nachbildung der Kolbenluftpumpe von Boyle, Originalluftpumpen von Musschenbroek, Hawksbee, Brander, Bianchi und Deleuil, Abb. 1, die Barometerluftpumpen von Geissler und Töpler sowie die umlaufende Quecksilberluftpumpe von Gaede. Die neuzeitliche Entwicklung der Kolbenluftpumpe ist gekennzeichnet durch die Öldichtung; sie wurde zuerst angewendet in der von A. Fleuss (1901) nach Guericke benannten „Geryckluftpumpe", sodann in der dreistufigen Ölluftpumpe von W. Gaede (1912) und schließlich in den mit Öl gedichteten Drehkolbenluftpumpen. In der Sonderschau sind die wichtigsten Ausführungsformen der genannten Pumpen in Schnittmodellen oder in Originalen, mit denen die Vakuummessung und die elektrische Gasentladung usw. vorgeführt werden, vertreten.

Die von Bunsen (1870) angegebene Wasserstrahlluftpumpe ist in mehreren Ausführungsformen aus Glas und Metall zu sehen, die an Quecksilbermanometern den erzielbaren Verdünnungsgrad von 15 bis 20 mm anzeigen. Auch die mit Wasserdampf zu betreibende Dampfstrahlluftpumpe, die in der Industrie als Wasser- und Luftpumpe vielfach verwendet wird, ist im Original und Schnittmodell aufgestellt. Zur Erzeugung höchster Verdünnungsgrade verwendet man die von W. Gaede (1913) und Langmuir (1914) konstruierte Quecksilberdiffusionspumpe. Sie ist durch mehrere Ausführungen in Glas, Quarz und Stahl mit einer und mehreren Stufen

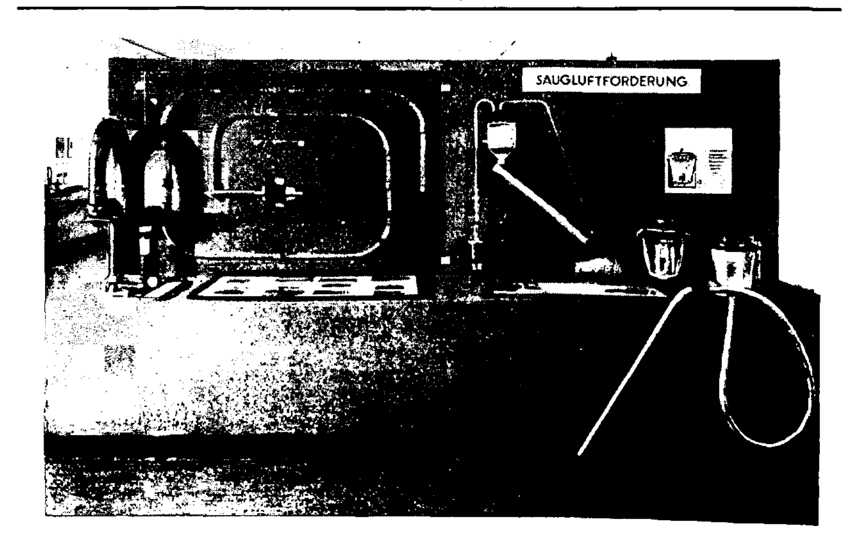


Abb. 2. Links: Rohrpostmodell; Mitte: Saugluftförderung von Getreide; rechts: Staubsauger

vertreten. Ein Satz mit zwei Öldiffusionspumpen und einer Vorpumpe nach Gaede dient zum Luftleerpumpen einer 2½ m langen Entladungsröhre, an der die wichtigsten Geräte zum Messen des Hochvakuums bis zu 1 Millionstel mm Quecksilbersäule Druck angeschlossen werden können. Es sind dies die Manometer nach McLeod und nach Pirani, ein Ionisationsmanometer und das Molvakumeter nach Gaede.

Industriepumpen

Während es bei den in der Wissenschaft und Röhrentechnik gebräuchlichen Luftpumpen auf einen möglichst hohen Grad der Luftleere ankommt, ist für die in der Industrie verwendeten Pumpen die Saugleistung, d. i. die stündlich geförderte Luftmenge, besonders wichtig. Die Industriepumpen mit Förderleistungen von 80 bis 180 m^3/h Luft sind vertreten durch eine Wasserringpumpe, eine Dampfstrahlpumpe, durch drei Drehkolben- und eine Schieberluftpumpe, die im Original oder Schnittmodell aufgestellt sind.

Die atmosphärische Dampfmaschine

Die technische Anwendung des Luftdrucks, welche bereits Guericke vorschwebte, fand erst ihre Verwirklichung, als Papin anfing, die Luftleere durch Kondensation von Wasserdampf zu erzeugen. Das heiße Ringen um die Erfindung der Dampfmaschine ist an vier durch Dampf betriebenen Versuchsmodellen nach Papin, Savery, Newcomen und Watt veranschaulicht.

Die Saugluftförderung

Von den technischen Anwendungen der Luftleere sind in betriebsfähigen Modellen dargestellt die Rohrpost, Abb. 2, die Saugluftförderung von Schüttgut, der Staubsauger und die selbsttätige Saugluftbremse von Hardy.

Vakuum-Destillation, -Verdampfung und -Trocknung

Die auf der Erniedrigung des Siedepunktes beruhende Vakuum-Destillation und -Extraktion werden gezeigt an betriebsfähigen Schliffgeräten und an einem Hochvakuumgerät nach Professor Stock, durch welche auf chemischem Wege schwer trennbare Kohlenwasserstoffe nach ihrer Verflüssigung durch fraktionierte Kondensation im Vakuum getrennt werden.

Die für die verschiedenen Zweige der chemischen und Nahrungsmittelindustrie, der Textilindustrie und der Elektroindustrie bedeutungsvolle Vakuumtrocknung und Vakuumimprägnierung ist durch kennzeichnende Ausführungen von Laboratoriums-Vakuumtrockenschränken sowie durch Modelle und Bilder von industriellen Vakuumtrocknern und Vakuumverdampfern vertreten. (Untere Abb. auf der 4. Umschlagseite.)

Die wärmeisolierende Eigenschaft der Luftleere

Sie findet Anwendung in dem Vakuummantelgefäß (Thermosflasche) und in der Glühlampe. Ein Versuch zeigt zwei gleich große Glaskolben, in denen je ein Platindraht durch Strom zur Rotglut erhitzt ist; wird der eine Kolben luftleer, so leuchtet der eingeschlossene Draht infolge des Wegfalls der Wärmeableitung viel heller auf. Hieran schließt sich die Entwicklung der Glühlampe bis zur neuzeitlichen nach der Evakuierung mit Stickstoff gefüllten Lampe mit gewendeltem Glühfaden. Neben den handelsüblichen Glühlampen ist die größte bisher gebaute Glühlampe für 50 kW Heizleistung, also 227 A Heizstrom bei 220 V Spannung aufgestellt.

Die elektrische Gasentladung in der Luftleere

Sie wird in zwei grundlegenden Versuchen vorgeführt, nämlich zwischen kalten Elektroden und zwischen einer kalten und einer glühenden Elektrode. Hieran schließt sich als dritte Entladungsform die lichtelektrische Entladung in der Photozelle an.

Von den vielseitigen Anwendungen der gekennzeichneten Grundform der elektrischen Gasentladung sehen wir in der Sonderschau die Leuchtröhren in der blauen Leuchtschrift „Fernsehen“, die Glimmlichtlampen und die Quecksilberbogenlampe.

Stromrichter

Die auf der Ventilwirkung der Entladungsröhre mit glühendem Pol beruhenden Stromrichter sind durch Quecksilberdampf-Gleichrichter mit Quecksilberkathode und solche mit Glühkathode vertreten. Bemerkenswert ist der Glaskörper eines Gleichrichters für 600 A und 500 V, sowie ein gittergesteuerter Glühkathoden-Gleichrichter für 1000 A und 5000 V. Die heute so wichtige Gittersteuerung des Stromrichters wird durch die Regelung der Umdrehungszahl eines Gleichstrommotors vorgeführt.

Die hochevakuierten Gleichrichter für höchste Spannungen (36 000 V) sowie die gittergesteuerten Elektronenröhren der drahtlosen Telegraphie sind durch bemerkenswerte Beispiele, darunter durch eine wassergekühlte Senderöhre für 300 kW vertreten. Auch eine tragbare Kurzwellenstation für Gegen- und Wechselverkehr in Telegraphie und Telephonie ist betriebsbereit aufgestellt.

Vakuumspektrograph, Elektronenmikroskop, Lichtblitzstroboskop

Von den wissenschaftlichen Anwendungen der Luftleere sei auf die Vakuumspektrographen für ultraviolettes Licht von Professor Schumann, für Röntgenstrahlen von Professor Siegbahn, auf das Elektronenmikroskop und auf das Lichtblitzstroboskop der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft hingewiesen.

Photozellen

Die Wirkungsweise der Photozelle wird durch eine Lichtsirene, einen Photokippkreis und ein durch Photoströme gesteuertes Uhrpendel veranschaulicht. Von ihren technischen Anwendungen wird ein Lichtrelais mit Zählwerk, ein Lichtschrankengerät, eine Raumschutzanlage und ein Dämmerungsanzeiger in Betrieb gezeigt.

Röntgenröhren

Die Entwicklung der Röntgenröhre ist durch eine Zusammenstellung älterer Ionenröhren mit Regeneriervorrichtung und neuester Elektronenröhren mit Glühkathode in strahlensicheren Schutzkappen mit Strichfokus, Drehanoden usw. gekennzeichnet. In Betrieb kann eine 200-kV-Anlage für Grobstrukturuntersuchung und eine 60 kV-Röhre für Durchleuchtung der Hand oder der Geldbörse vorgeführt werden. Bemerkenswert sind die aufgestellten, in Metallkapseln eingeschlossenen kleinsten Röntgenapparate, die vom Arzt in die Wohnung des Kranken mitgenommen und an das Lichtnetz angeschlossen werden können. (Obere Abb. auf der 4. Umschlagseite.)

Kathodenstrahlröhre und Fernsehen

Die Aufzeichnung der beim Besprechen eines Mikrophons entstehenden Sprechströme auf dem Fluoreszenzschirm einer Kathodenstrahlröhre wird an einem Oszillographen vorgeführt.

Soll auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre ein Fernsehbild aufgezeichnet werden, so muß der Kathodenstrahl zunächst in gleichsinnigen Zeilen über den Leuchtschirm so geführt werden, daß er vom Ende der untersten Zeile zum Anfang der obersten Zeile hinaufspringt.

Sowohl die Zeilenbewegung wie die Helligkeitssteuerung des Kathodenstrahles kann auf rein elektrischem Wege mit geringstem Leistungsaufwand bewirkt werden, und darin liegt der große Vorteil der Fernsehempfänger mit Braunscher Röhre gegenüber den früheren motorbetriebenen Empfängern. Um den Besuchern das Verständnis der bereits recht verwickelten

Vorgänge dieser Anlage zu erleichtern, ist ein Vorführungsmodell mit Glimmlampen- und Spiegelschraubenempfänger aufgestellt. Es zeigt die Bildzerlegung durch die Nipkowscheibe, die Umwandlung der bildmodulierten Lichtstrahlen in entsprechende Photoströme, ihre Verstärkung und Zurückverwandlung in Helligkeitswerte und schließlich ihre Zusammensetzung zum Bild.

Der heutige Stand des Fernsehempfanges mit Kathodenstrahlröhre ist durch zwei Geräte zur drahtlosen Aufnahme von 180 zeiligen Bildern mit 40 000 Punkten in einer Größe von 18 × 22 cm sowie durch drei Fernsehröhren gekennzeichnet.

Den Abschluß der Sonderschau bilden zwei betriebsfähige Gegensehstationen des Reichspostzentralamtes Berlin mit 90 zeiligen Bildern (10 000 Bildpunkte).

Um die z. T. schwer verständlichen Vorführungen und Ausstellungsgegenstände auch dem Nichtfachmann zugänglich zu machen, finden neben den Abendführungen in der Sonderschau auch täglich während der Besuchszeit zwei Führungen statt.


Stadt-
Bibliothek
Elbing



Oskar Messter

geb. 21. November 1866 in Berlin

Begründer der deutschen Filmindustrie und Erfinder zahlreicher Verbesserungen der kinematographischen Technik.

Entwicklung der Kinotechnik

Von *Rudolph Thun VDI,* Berlin*)

Vorwort

Im Jahre 1896 wurde von *Oskar Messter* die Form des kinematographischen Vorführungsapparates geschaffen, die noch heute in der berufsmäßigen Kinematographie vorherrschend ist. Die vierzigjährige Wiederkehr dieses Ereignisses war mit Veranlassung, in dieser Schriftenreihe über die Entwicklung der Kinotechnik zu berichten. Es soll nun nicht eine lückenlose Aufzählung aller Ereignisse gegeben werden, welche für diese Entwicklung maßgebend waren, sondern es soll der Versuch unternommen werden, die Zusammenhänge zu schildern, die die Hauptlinien dieser Entwicklung bestimmten. Manche dieser Zusammenhänge können allerdings nur erschlossen werden, wenn bei der Durchsicht alter Veröffentlichungen auch zwischen den Zeilen gelesen wird. Beispielsweise sind die wichtigste Unterlage für eine Beurteilung der Arbeiten von Edison die Veröffentlichungen seines Mitarbeiters *K. L. W. Dickson.* Diesem sind aber offensichtlich nicht alle Beweggründe bekannt gewesen, die Edison zu seinen Angaben über die auszuführenden Versuche veranlaßten. Unsere heutigen Kenntnisse über kinotechnische Zusammenhänge lassen es jedoch höchst wahrscheinlich erscheinen, daß Edison einige dieser Zusammenhänge bereits erfaßt hatte, ohne daß er sie seinen Mitarbeitern in ihrer vollen Bedeutung mitteilte. Bei derartigen Rückschlüssen spielen die persönlichen Erfahrungen des Beurteilers eine größere Rolle, als wenn lediglich geschichtliche Tatsachen in einer neuen Reihenfolge zusammengestellt werden. Andererseits kann so ein lebendigeres Bild des geschichtlichen Werdens gewonnen werden, aus dem allgemeinere Erkenntnisse abgeleitet werden können, die auch eine Stellungnahme zu den Tagesfragen dieses Zweiges der Technik erleichtern.

Die Mehrzahl der geschichtlichen Zahlen wurde den „Zahlen und Quellen zur Geschichte der Projektionskunst und Kinematographie" von *F. Paul Liesegang* entnommen. Des weiteren wurden zahlreiche Aufsätze und persönliche Mitteilungen von *K. Forch, H. Joachim, P. Liesegang, O. Messter* und *G. Seeber* verwertet.

Berlin, September 1936. *R. Thun.*

*) Der Verfasser ist bekannt durch seine Arbeiten auf den Gebieten der Kinematographie und des Fernsehens. Er hat hier einen neuen Zeitdehner und neue Fernsehverfahren (Liniensteuerung) geschaffen. Mit der Geschichte der Kinematographie hat er sich als Mitglied des Ausschusses für Geschichte der Deutschen Kinotechnischen Gesellschaft näher befaßt.

Das bewegte Bild

Kinotechnik ist die Technik des bewegten Bildes, in der Mehrzahl der Fälle des projizierten Bildes. Bereits der Deutsche *Athanasius Kirchner* beschreibt 1646 in seiner „Ars magna lucis et umbrae" die Projektion einer Art Hampelmannes, also eines bewegten Bildes. *Joh. Zahn* projizierte 1685/86 mittels eines flachen Glasgefäßes lebende Tierchen. *Ehrenberger* aus Hildburghausen fertigte und beschrieb 1713 mechanisch bewegliche Bilder für Bildwerfer, die auch schon 16 Jahre vorher der Jenenser Physiker *Weigel* hergestellt haben soll. Bei allen diesen Versuchen werden also bewegte Bilder durch den Bildwurf von bewegten Modellen erzeugt, ein Verfahren, das in seiner Anwendbarkeit zwar beschränkt ist, aber doch eine mögliche Lösung für die Erzeugung bewegter Bilder darstellt.

Bewegte Bilder durch schnell aufeinanderfolgende Phasenbilder

Die heutige Kinematographie beruht auf einem grundsätzlich anderen Verfahren, indem das bewegte Bild durch den schnellen Wechsel von Bildern erzeugt wird, die verschiedene Bewegungsphasen wiedergeben. Im Dictionnaire encyclopédique des amusements des sciences mathématiques et physiques, Paris 1792, wird wohl die erste Beschreibung von Projektionsbildern gegeben, die schnell von Hand gewechselt werden, und verschiedene Bewegungsphasen wiedergeben. Im Jahre 1825 brachte Dr. *Fitton* in London die Wunderscheibe heraus, eine Fläche, die auf ihren beiden Seiten zwei verschiedene Darstellungen trägt, die bei schneller Drehung der Scheibe miteinander verschmelzen.

Aufbauend auf den Untersuchungen von *P. M. Roget* (London, 1824) über Erscheinungen, die Räder hinter Zäunen ergeben, entwickelte *J. Plateau* (Brüssel, 1828/29) ein Gerät, bei dem Phasenbilder hinter einer Spaltscheibe zu einem Bewegungseindruck verschmolzen wurden. *M. Faraday* entwickelte 1830/31 ein ähnliches Gerät, und 1832 wurde unabhängig voneinander von *Plateau* und *Stampfer* (Wien) das Lebensrad geschaffen, eine Scheibe, die mehrere Phasenbilder trägt, die durch Schlitze der Scheibe hindurch in einem Spiegel betrachtet werden können, und beim Drehen der Scheibe zu einem bewegten Bilde verschmelzen. *W. G. Horner* beschreibt 1833 die Wundertrommel, ein in Trommelform gebrachtes Lebensrad. Diese Wundertrommel blieb dann bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts ein beliebtes Kinderspielzeug. Sie wurde im Laufe der Zeit verschiedentlich verbessert, der Pariser Optiker *Duboscq* brachte 1852 eine stereoskopische Wundertrommel heraus, *C. Wheatstone* 1868 ein sprungweise bewegtes Lebensrad. Im Jahre 1866 (?) entwickelte der Ingenieur *Beale* (Greenwich) eine Projektionsvorrichtung, bei der eine Metallscheibe, in die ein tanzendes Skelett in sechs Stellungen eingeschnitten ist, sprungweise

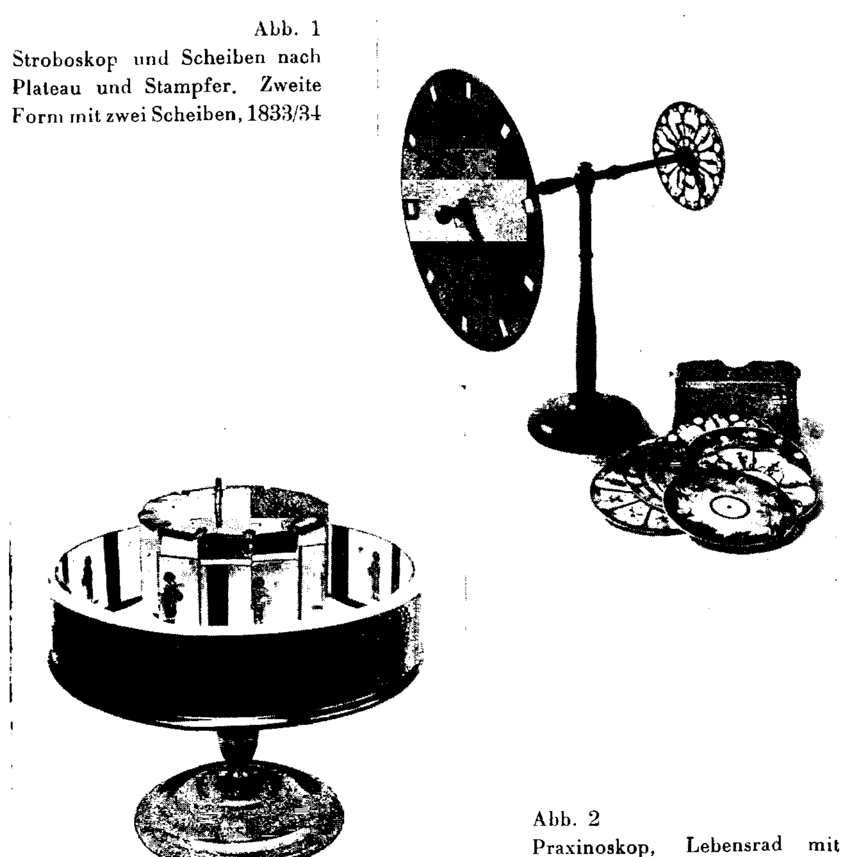


Abb. 1
Stroboskop und Scheiben nach Plateau und Stampfer. Zweite Form mit zwei Scheiben, 1833/34

Abb. 2
Praxinoskop, Lebensrad mit Spiegeltrommel, von Reynaud 1877 (Original im Schäffler-museum, Jena)

gedreht wird, und deren Bildwechsel verdeckt ist. *A. B. Brown* nahm 1869 ein amerikanisches Patent auf ein Projektionslebensrad, bei dem eine Bildscheibe durch ein Einzahngetriebe unstetig gedreht wird, wobei eine Blendenscheibe den schnellen Teil der Bewegung abdeckt. 1868 entstand der Taschenkinematograph von *Linett,* bei dem die Phasenbilder in Buchform angeordnet sind, und durch Abblättern sichtbar werden. Wenige Jahre später war diese Form als „Penny-book" ein verbreiteter Gegenstand des Straßenhandels. 1869 stellte der schottische Physiker *J. C. Maxwell* eine Wundertrommel mit optischem

Ausgleich durch Konkavlinsen her, die an Stelle der Schlitze sitzen, und 1877 baute der Franzose *Reynaud* eine Wundertrommel mit optischem Ausgleich durch Spiegel. 1882 baute *Reynaud* dieses Gerät zu einem Projektionsapparat aus, und 1888 verwendete er dabei längere Bildbänder.

1843 hatte der Engländer *T. W. Naylor* die Verbindung von Lebensrad und Projektionsapparat vorgeschlagen, in den Jahren 1845 bis 1853 hatte der österreichische Offizier *Uchatius* ein leistungsfähiges Projektionslebensrad mit Beleuchtung durch Kalklicht entwickelt.

Außer den genannten haben sich in diesem Zeitraum noch zahlreiche andere Physiker, Optiker und Erfinder mit der Wiedergabe bewegter Bilder durch schnellen Wechsel von Phasenbildern befaßt. Es sind also zwischen 1792 und 1888 „erfunden“ worden:

Bewegungswiedergabe durch Wechsel von Phasenbildern,
Wiedergabe stetig bewegter Bilder durch schnell bewegte Schlitze,
Ruckweise Bewegung der Phasenbilder mit angenähertem oder vollkommenem Stillstand,
Optischer Ausgleich der Bewegung der Phasenbilder durch Linse und Spiegel,
Lange Bildbänder,
Projektion bewegter Bilder.

Damit waren also die Bestandteile des Kinematographen vollzählig vorhanden, es fehlte nur noch eine geeignete Form der Verbindung dieser Bestandteile und ihre zweckmäßige Ausgestaltung, um das Lichtspiel, das bewegte Bild als Unterhaltungsmittel großer Massen, zu schaffen. Wieweit eine Annäherung an dieses Ziel bereits erreicht war, zeigen die Vorführungen von *Reynaud* 1888. Es wurden hier Bildbänder aus Gelatine verwendet, auf die die Phasenbilder gezeichnet waren, und die bereits Perforationslöcher trugen. Er hat drei Lustspiele hergestellt, deren Bildbänder 22 m, 36 m und 50 m lang waren und die 300, 500 bzw. 700 Einzelbilder enthielten. Die Spieldauer betrug 6 bis 8, bzw. 10 bis 12 und 12 bis 15 min. Der Wechsel der Bilder erfolgte je nach dem Bildinhalt mit verschiedener Schnelligkeit, einzelne Bilder ohne Bewegung blieben auch längere Zeit stehen. Es handelte sich also bereits um recht beachtenswerte Vorführungen gezeichneter Filme in theatermäßigen Vorstellungen.

Reihenphotographie

Alle bis jetzt erwähnten Vorrichtungen benutzten gezeichnete Bilder. *Plateau* hatte auf Anregung von *Wheatstone* bereits 1849 vorgeschlagen, die Bilder für das Lebensrad photographisch herzustellen, und zwar stereoskopisch. Die Unempfindlichkeit der damaligen photographischen Verfahren gestattete jedoch noch nicht die Durchführung

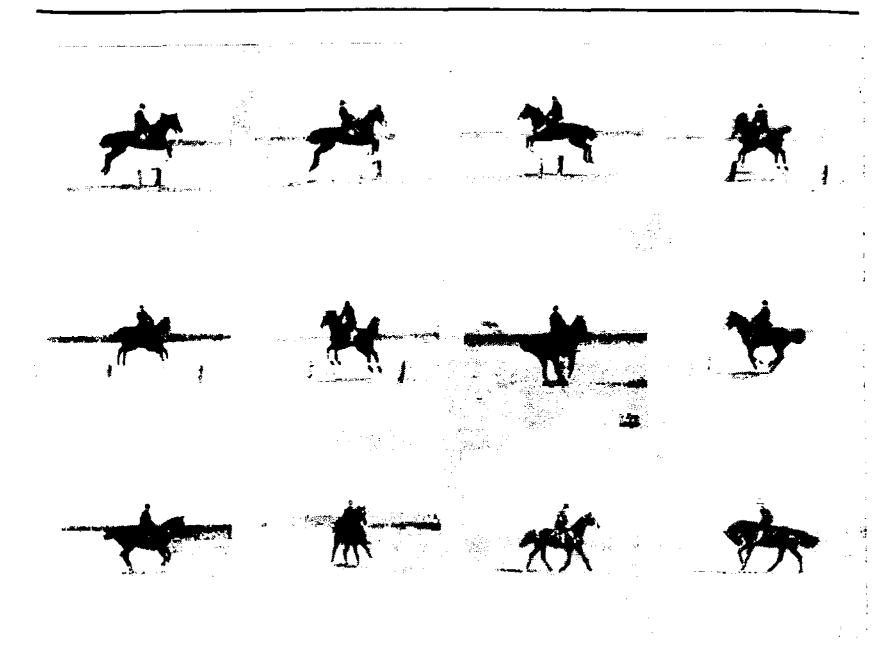


Abb. 3. Reihenaufnahmen auf mehreren Platten von Muybridge 1877/78

dieses Vorschlages. 1852 stellte zwar *Claudet* solche Bilder her, doch konnten nur gestellte Bewegungsphasen mit Zeitbelichtung aufgenommen werden, so daß hier von einer eigentlichen Aufnahme von Reihenbildern nicht gesprochen werden kann. In den folgenden Jahren wurden noch ähnliche Aufnahmen von anderer Seite durchgeführt, und es wurden auch zahlreiche Vorschläge für geeignete Aufnahmegeräte gemacht.

Die erste wirkliche Reihenaufnahme wurde von dem französischen Astronomen *J. Janssen* 1874 gemacht. Sein Apparat arbeitete in der Weise, daß durch ein Uhrwerk eine runde Platte sprungweise bewegt wurde, während des Stillstandes erfolgte je eine Aufnahme. Hiermit wurde der Vorübergang der Venus vor der Sonne aufgenommen, und zwar je Sekunde ein Bild, insgesamt 48 Bilder auf der Platte. *Janssen* wies auch auf die Verwendbarkeit für Bewegungsaufnahmen von Menschen und Tieren hin, da aber hier die Beleuchtungsverhältnisse ganz erheblich ungünstiger waren, sind solche Aufnahmen nicht durchgeführt worden.

Die ersten wirklichen Bewegungsaufnahmen von Tieren wurden 1877 von *E. Muybridge* in Kalifornien gemacht. Hierzu dienten 24 nebeneinander aufgestellte Aufnahmeapparate, deren Verschlüsse mit Fäden

verbunden waren, die das aufzunehmende Tier zerriß, wenn es sich in der Aufnahmerichtung des jeweiligen Apparates befand. Die helle kalifornische Sonne war eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen dieser Versuche, da sie es erst ermöglichte, bei den damaligen unempfindlichen Schichten einigermaßen durchbelichtete Bilder zu erhalten. Anfangs glückten nur Schattenaufnahmen gegen einen hellen Hintergrund. *Muybridge* setzte seine Arbeiten bis 1885 fort und verbesserte seine Geräte, indem er die Verschlüsse der Aufnahmeapparate durch ein Uhrwerk mit Kontaktscheiben auslösen ließ, auch gelangen ihm später teilweise recht gut durchgezeichnete Bilder. Er gab ein großes Sammelwerk heraus (Animal Locomotion, 11 Bände in sehr großem Format, Philadelphia, 1887) in dem die verschiedensten Bewegungen von Menschen und Tieren wiedergegeben sind. *Muybridge* stellte auch Reihenbilder auf Papierstreifen nach diesen Aufnahmen für die Wundertrommel her, und er projizierte auch diese Bilder. Die erste Projektion erfolgte 1879 in San Franzisko, 1882 auch in Berlin.

Muybridge betrachtete seine Reihenaufnahmen in erster Linie als Forschungsmittel für Untersuchungen über den Ablauf menschlicher und tierischer Bewegungen. In dieser Richtung stellt sein großes Sammelwerk auch heute noch eine Fundgrube dar, die viel zu wenig beachtet wird. An ein Unterhaltungsmittel dachte er wohl nur insofern, als in der damaligen Zeit derartige Forschungsarbeiten für die sogenannte gebildete Welt gleichzeitig auch eine Unterhaltung waren.

Die Arbeiten von *Muybridge* regten den französischen Physiologen *E. J. Marey* an, nach dem Vorbild von *Janssen* (s. S. 5) eine Aufnahmekamera zu bauen, die 12 Aufnahmen auf einer Platte aufzunehmen gestattete. Die Platte wurde ruckweise bewegt, der ganze Apparat hatte das Aussehen einer Flinte und sollte besonders zur Untersuchung des Vogelfluges dienen. Die Bilder waren sehr klein, die Geschwindigkeit der Bildwechsel für den Verwendungszweck zu gering. *Marey* entwickelte deshalb anschließend besondere Verfahren, bei denen die gleiche Platte mehrfach belichtet wurde, und die für wissenschaftliche Zwecke noch bis heute eine gewisse Bedeutung haben. Die Entwicklung zum heutigen Kinematographen wurde durch diese Arbeiten anfangs nicht gefördert, später förderten Mitarbeiter *Mareys* auch die Entwicklung des Lichtspieles.

Die Arbeiten von *Muybridge* regten im Jahre 1885 *O. Anschütz* zu ähnlichen Versuchen an. *Anschütz* legte von Anfang an das Hauptgewicht seiner Arbeiten auf eine möglichst große Vollkommenheit der von ihm benutzten Verfahren. Es gelang ihm als erstem, in allen Einzelheiten gut durchgearbeitete Bilder zu erhalten. Er benutzte ebenfalls eine Vielzahl von Aufnahmeapparaten, die auf einem Wagen vereinigt waren und deren Verschlüsse elektrisch in einstellbaren Zeit-



Abb. 4
Anschütz-Schnellseher 1887

abständen ausgelöst wurden. Er konnte 20 bis 40 Aufnahmen je Sekunde durchführen. Seine Aufnahmen dienten in erster Linie wissenschaftlichen Zwecken. Im Jahre 1886 erhielt er bereits auf Grund seiner hervorragenden Aufnahmen vom Kultusministerium und vom Kriegsministerium den Auftrag, im Militär-Reitinstitut zu Hannover Reihenbilder anzufertigen, die einer Erforschung der Bewegungen von Roß und Reiter dienen sollten. Zu dieser Zeit gab es noch keine brauchbaren Filme. *Anschütz* benutzte deshalb für seine Aufnahmen Glasplatten. Der wissenschaftliche Zweck erforderte größte Schärfe und Unveränderlichkeit der Aufnahmen, Forderungen, die auch noch Jahre später nur von Glasplatten in dem von *Anschütz* geforderten Maß erfüllt wurden. *Anschütz* konnte sich deshalb auch später nicht für die Verwendung von Filmen bei der Aufnahme entschließen.

Im Jahre 1887 entwickelte *Anschütz* seinen elektrischen Schnellseher, der einem kleinen Kreis von Beschauern die Betrachtung lebender Photographien ermöglichte. Die vorzuführenden Bilder waren auf einer runden Scheibe befestigt, die sich stetig bewegte. Die Bilder wurden von der Rückseite aus durch eine Geißlersche Röhre so kurzzeitig

beleuchtet, daß sie vollkommen scharf erschienen. Dieser Schnellseher wurde vom Jahre 1891 an von der Firma Siemens & Halske gebaut und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. *Anschütz* stellte dann auch eine große Zahl von Aufnahmereihen her, die nicht mehr rein wissenschaftlichen Zwecken, sondern nur der Unterhaltung dienten.

Auch bei der Entwicklung des elektrischen Schnellsehers war *Anschütz* seinem Grundsatz treu geblieben, eine technische Höchstleistung zu erreichen. Der Schnellseher lieferte scharfe, gut stehende Bilder, und in dieser Hinsicht war er dem zwei Jahre später herausgebrachten Kinetoskop von *Edison* überlegen.

Im Jahre 1894 entwickelte *Anschütz* einen Projektionsapparat, mit dem er seine Reihenbilder in Lebensgröße projizieren konnte, einer Größe, die erst mehrere Jahre später von anderen wieder erreicht wurde. Vom 22. Februar 1895 ab erfolgten regelmäßige öffentliche Vorführungen mit diesem Apparat in dem 300 Personen fassenden Sitzungssaal des alten Reichstagsgebäudes in der Leipziger Straße in Berlin.

Auch dieser Projektionsapparat, ein Doppelprojektor, war eine technische Höchstleistung. Die Bilder waren abwechselnd auf zwei runden Scheiben befestigt, die durch eine Malteserkreuzschaltung mit tangentialem Eingriff abwechselnd geschaltet wurden. Da jede Scheibe 12 Bilder enthielt, war die Zeit des Stillstandes nur wenig größer als 180 Grad. Die Bilder wurden auf den Scheiben einzeln nach dem Projektionsbild eingestellt, ehe sie endgültig auf den Scheiben befestigt wurden. Hierdurch war es möglich, mit dem Doppelprojektor gut stehende Bilder zu erreichen, eine Leistung, die von keinem der späteren Doppelprojektoren befriedigend gelöst wurde.

Es war *Anschütz* von Ingenieur *Verständig* vorgeschlagen worden, den inzwischen vervollkommneten Film zu verwenden. Anschütz ist dieser Anregung nicht gefolgt, und zwar von seinem Standpunkt aus mit vollem Recht, da es auch mit diesen verbesserten Filmen nicht möglich war, mit einem Doppelprojektor ausreichendes Stehen der Bilder zu erreichen.

Der Umstand, daß die von Anschütz entwickelten Verfahren nur eine begrenzte Anzahl von Einzelbildern aufzunehmen und vorzuführen gestatteten, konnte von ihm nicht als Mangel empfunden werden. Für die damaligen wissenschaftlichen Zwecke reichte diese begrenzte Bildzahl vollkommen aus. Soweit seine Bildreihen der Unterhaltung dienten, kam es ihm auf die höchste Vollendung der Bildgüte an, der Inhalt der gezeigten Handlung schien ihm weniger wichtig. Diese einseitige technische Einstellung verhinderte, daß *Anschütz* auch an der späteren Entwicklung der Kinematographie tätigen Anteil nahm.

Wie *F. Paul Liesegang* nachweist, wurde der Anschützsche Schnellseher von 1887 der Ausgangspunkt der Arbeiten von *Edison* am Kinematographen. Der in kinotechnischen Dingen erfahrene Ingenieur *Jenkins* hielt am 18. Dezember 1895 im Franklin-Institut einen Vortrag, in dem er folgendes ausführte: „Im September 1887 erschien in einer amerikanischen Fachzeitung eine ausführliche Beschreibung der Aufnahmekamera und des Schnellsehers von Anschütz. Unmittelbar nach der Veröffentlichung dieses Aufsatzes wurde Dickson, damals Angestellter im Edisonschen Laboratorium, beauftragt, Apparate auszuarbeiten, die später zum Kinetoskop führten."

Die erwähnte Beschreibung der Aufnahmekamera von Anschütz entsprach allerdings nicht der wirklichen Bauart, dort wurde diese Kamera als ein Apparat mit nur einem Objektiv beschrieben, hinter dem eine kreisförmige, lichtempfindliche Platte umläuft, die durch eine Schlitzscheibe belichtet wurde. Diese an sich falsche Berichterstattung hatte aber das Gute, daß sie Edison auf den richtigen Weg führte. Die ersten Versuchsgeräte, die in dem Laboratorium von Edison ausgeführt wurden, entsprachen fast genau der in diesem Bericht geschilderten Bauart. Edison wollte das bewegte Bild als Ergänzung zu seinem Phonographen verwenden, der Ton sollte durch das Bild ergänzt werden. Es wurden deshalb Apparate gebaut, bei denen die Bilder auf einer Walze spiralig aufgezeichnet wurden. Dabei konnte nur eine geringe Bildgröße angewendet werden. Als im Jahre 1889 *Eastman* mit der Herstellung lichtempfindlicher Zelluloid-Filmbänder begann, setzte sich Edison sofort mit Eastman in Verbindung, und es wurden Versuche mit diesem neuen Material aufgenommen, ehe es in den öffentlichen Handel kam. Es war in dem Edisonschen Laboratorium durch Versuche festgestellt worden, daß rund 50 Bildwechsel erforderlich sind, um auch schnelle Bewegungen fließend wiederzugeben. Anfangs hatte man mit kleinen Bildern von ¼ Zoll Höhe gearbeitet. Edison gewann offensichtlich schon sehr frühzeitig die Erkenntnis, daß es eine günstigste Bildgröße gab. Wird diese Größe unterschritten, dann wird die Güte des Bildes durch das Korn der lichtempfindlichen Schicht begrenzt, wird die Größe überschritten, dann wird die Güte des Bildes durch die zunehmenden Fehler der Bildschaltung begrenzt. Der günstigsten Bildgröße näherte man sich im Edisonschen Laboratorium von unten, die Höhe des Bildes wurde auf ½ Zoll und schließlich auf ¾ Zoll vergrößert. Außerdem ergab sich, daß für die Mehrzahl der Bilder ein Querformat günstig war, somit waren die Abmessungen des Filmes gegeben. So wurde um das Jahr 1891 in dem Edisonschen Laboratorium der Film geschaffen, dessen Abmessungen auf Grund planmäßiger Untersuchungen so günstig gewählt waren, daß er sich bis heute für das Lichtspielhaus behauptet hat. Damit war

eine wichtige Grundlage der heutigen Kinematographie geschaffen worden.

Mit der Gründlichkeit, mit der in den Edisonschen Laboratorien gearbeitet wurde, wurden nun auch alle Einzelheiten für die Aufnahme und Vervielfältigung von Kinoaufnahmen durchgearbeitet, so daß ab 1893 Filme in den Handel gebracht werden konnten, die weitgehend unseren heutigen Filmen entsprachen.

Diese Filme sind auch in dem Edisonschen Laboratorium projiziert worden, doch ist nicht bekannt, wie der Projektionsapparat beschaffen war. Da Edison an 40 bis 50 Bildwechsel in der Sekunde festhielt, müssen die Projektionsapparate entweder den Film stark beansprucht haben, oder es war nur eine sehr lichtschwache Projektion möglich. Da das Bild als Ergänzung zum Phonographen dienen sollte, und dieser in der damaligen Form nur für den einzelnen Zuhörer geeignet war, begnügte Edison sich nach dem Vorbild des Anschützschen Schnellsehers mit einem Betrachtungsapparat, der für einen Zuschauer bestimmt war. 1893 kam das Edisonsche Kinetoskop heraus, bei dem der Film stetig mit 46 Bildwechseln in der Sekunde lief, und bei dem das einzelne Bild kurzzeitig durch eine Schlitzscheibe hindurch von einer Glühlampe beleuchtet wurde. Der Apparat war in allen Einzelheiten gut durchgebildet, so daß er eine ausreichende Betriebsicherheit besaß und weite Verbreitung fand.

Der Bau von Projektionsapparaten für Edisonsche Filme bot keine besonderen Schwierigkeiten, wenn eine kleinere Bildwechselzahl, 15 bis 18 Bilder in der Sekunde, als ausreichend erachtet wurde. Infolgedessen tauchten in Amerika kurz nach dem Erscheinen des Kinetoskopes mehrere Projektionsapparate auf, die mit Edisonschen Filmen arbeiteten. *Leroy* hat seit 1894 in Amerika zahlreiche Projektionsvorführungen mit Edisonschen Filmen auf einem wahrscheinlich selbstgebauten Apparat veranstaltet. Von einem Projektor von *E. Amat*, mit dessen Herstellung 1894/95 begonnen wurde, sollen 500 Stück verkauft worden sein. Es dürften also bereits 1894/95 in Amerika zahlreiche Filmprojektionen gezeigt worden sein, wahrscheinlich alle mit Bildwechselzahlen von 15 bis 18 Bildern je Sekunde, und deshalb mit starkem Flimmern und schleichender Bewegungswiedergabe. Sie wurden anscheinend als so eine Art Jahrmarktsrummel aufgefaßt, von dem der nüchterne Amerikaner kein großes Aufheben machte.

Im November 1895 führten die Brüder *Skladanowsky* im Berliner Wintergarten Filmprojektionen durch. Sie hatten selbständig mit einfachen Mitteln einen Aufnahmeapparat entwickelt, mit dem sie bis zu 48 Aufnahmen auf einem Filmband aufnehmen konnten. Als Aufnahmematerial diente auseinandergeschnittener Rollfilm. Die Bilder waren nicht abstandhaltig und mußten deshalb vor dem Kopieren ein-

zeln justiert werden. Der Projektor war ein Doppelapparat, der die Bilder von zwei Filmschleifen abwechselnd projizierte. In technischer Beziehung war die Herstellung dieser Filme gegenüber den zu dieser Zeit bereits im Handel befindlichen Edisonschen Filmen stark unterlegen, und die Bildgüte des Projektors stand weit hinter der von dem Anschützschen Projektor erreichten zurück. Die Verwendung von Filmbändern bedeutet für einen Doppelprojektor keinen Fortschritt. Gegenüber Anschütz war zwar insofern ein Fortschritt erreicht, als 48 Bilder statt 24 bei Anschütz in Wiederholung vorgeführt werden konnten. Damit wurde jedoch eine grundsätzliche Erweiterung der Wiedergabe stetig fortschreitender Handlungen nicht erreicht. Die Bedeutung der Vorführung von *Skladanowsky* ist nicht in einem technischen Fortschritt zu suchen, sondern darin, daß sie erstmalig ein geschlossenes, einheitliches Unterhaltungsprogramm zeigten. Sie führten folgende Bilder im Wintergarten vor:

1. Italienischer Bauerntanz
2. Komisches Reck
3. Das boxende Känguruh
4. Jongleur
5. Akrobatisches Potpourri (8 Personen)
6. Kamerinskiji (russ. Nationaltanz)
7. Ringkampf zwischen Greiner und Sandow
8. Die Erfinder des Bioskopes (Gebr. Skladanowsky).

Sie bezeichneten diese Vorführungen mit vollem Recht als „ein volles Varieteeprogramm in 15 Minuten".

Die technische Leistung der Brüder *Skladanowsky* ist nur insofern beachtenswert, als hier Nicht-Techniker in verhältnismäßig kurzer Zeit mit behelfsmäßigen Mitteln eine Projektion lebender Photographien erreichten, wenn dabei auch bei weitem nicht das erreicht wurde, was bei dem damaligen Stand der Technik bereits von anderen Technikern erreicht war. Diese Feststellung bedeutet keine Verkleinerung der Arbeiten der Gebrüder *Skladanowsky*, ebensowenig wie beispielsweise die Feststellung eine Herabsetzung bedeutet, daß ein musikalisch nicht ausgebildeter Spieler eines Instrumentes wohl eine recht annehmbar klingende Musik erzeugen könne, daß aber seinem Spiel meistens keine künstlerische Bedeutung zukomme.

Die Mängel der technischen Hilfsmittel der Gebrüder Skladanowsky waren immerhin so auffällige, daß sie trotz des guten Inhaltes der von ihnen gezeigten Bilder nur vorübergehende Erfolge erzielten, welche die Entwicklung der Kinematographie nicht entscheidend beeinflußten.

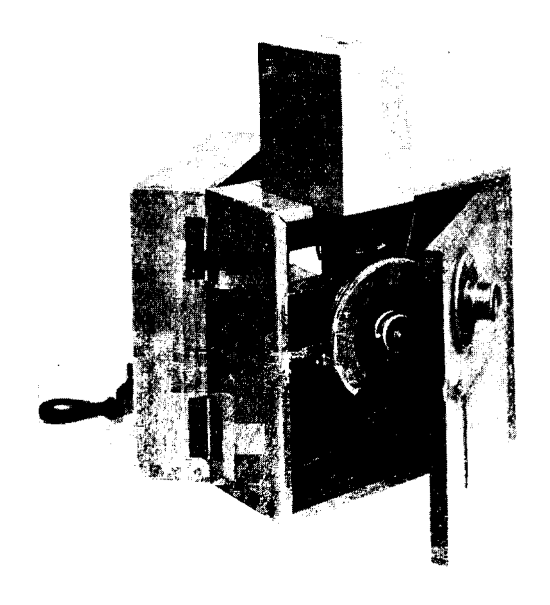


Abb. 5
Kinematographischer Aufnahme- und Vorführapparat mit Greifer der Brüder Lumière, 1895

Ausgehend von dem Edisonschen Kinetoskop hatten die Brüder *Lumière* in Lyon einen Aufnahme- und Vorführapparat entwickelt, den sie erstmalig im März 1895 in der Société d'encouragement à l'industrie nationale vorführten. Der Allgemeinheit zugängliche Vorführungen erfolgten vom 28. Dezember 1895 ab im Grand Café, Paris. Bandbreite und Bildgröße entsprachen den Edison-Filmen, die Perforation bestand jedoch nur in einem Loch auf jeder Seite, nicht vier Löchern wie bei Edison. Der Apparat arbeitete mit Greifer und gestattete 16 bis 18 Bildwechsel in der Sekunde. Das Gerät war technisch gut durchgebildet, es hatte den Vorteil, daß es verhältnismäßig klein und einfach war. Dieser Vorteil war allerdings dadurch erkauft, daß die Projektionsbilder stark flimmerten und daß schnelle Bewegungen nicht fließend wiedergegeben wurden. Gegenüber den in Amerika zu dieser Zeit bereits benutzten Projektoren bestand eigentlich nur der Vorteil, daß die Brüder Lumière Filme benutzten, die mit der gleichen Bildwechselzahl aufgenommen waren, wie sie auch später vorgeführt wurden, so daß die Geschwindigkeit der Bewegungen wenigstens natürlich war und nicht verzögert, wie bei einer Projektion von Edisonschen Originalfilmen mit nur 16 bis 18 Bildwechseln in der Sekunde. Die Lumièreschen Aufnahmen zeigten Straßenbilder, einen fahrenden Eisenbahnzug, ein Boot an der Meeresküste, eine Gartenszene, also Bilder, die inhaltlich nicht die Geschlossenheit des Skladanowskyschen

Programmes zeigten, und deren Inhalt die Zuschauer kaum stärker gefesselt haben dürfte, als der Inhalt der Edisonschen Filme.

Trotzdem erregten die Lumièreschen Vorführungen in Paris das größte Aufsehen, ein Aufsehen, das auf das ganze übrige Europa ausstrahlte. Die Ursache hierfür muß wohl in der leichten Begeisterungsfähigkeit des Franzosen gesucht werden. In Deutschland wurden die ganz ausgezeichneten Vorführungen von Anschütz als eine vielleicht wissenschaftlich verwertbare Neuerung betrachtet, der Amerikaner betrachtete die Projektion der Edisonschen Filme als einen Bluff, mit dem man vielleicht Geld verdienen kann, der Franzose begeisterte sich für die flimmernden Bilder, so daß es das Spielzeug einer großen Mode wurde. Alle Zeitungen berichteten über die neueste Pariser Sensation, und das allgemeine Interesse wurde für das lebende Projektionsbild geweckt, wie es in diesem Maße vorher nie der Fall war.

Die Projektion Edisonscher Filme mit geringerer Bildwechselzahl bot der damaligen Technik keine besonderen Schwierigkeiten, was sich am besten daran zeigte, daß überall hierfür geeignete Apparate auftauchten, als diese Mode einsetzte. In der Pariser Zeitschrift „La Nature“ erschienen vom 4. Juli bis zum 24. Oktober 1896 allein vier Anzeigen, in denen verschiedene Apparate für „lebende Projektionen“ angeboten wurden.

In London hatte *Paul* bereits früher das Edisonsche Kinetoskop nachgebaut, und als für diese nachgebauten Apparate keine Edisonfilme mehr geliefert wurden, hatte er selber eine Aufnahmekamera gebaut, so daß auch in England Filme hergestellt werden konnten. Im März 1896 baute *Paul* erstmalig einen Projektionsapparat für Edisonfilme, im April kam ein Nachbau dieses Gerätes nach Berlin. Die Paulsche Bauart war nicht besonders günstig, sie arbeitete nur bei Verwendung sehr genau gelochter, ungeschrumpfter Filme zufriedenstellend. Der nach Berlin verschlagene Nachbau dieses Apparates war schlechter als der Paulsche Apparat. *Oskar Messter* erhielt ihn zur Ausbesserung. Er erkannte sofort die Unzweckmäßigkeit dieser Bauart, und bereits im Mai 1896 hatte er eine neue Bauart entwickelt, die von diesen Mängeln frei war. Es war also bei dem damaligen Stande der Technik einem begabten Mechaniker durchaus möglich, in der kurzen Zeit von einem Monat einen Vorführungsapparat zu bauen, der einigermaßen brauchbar war.

In den Jahren 1895, 1896 und später sind so eine große Anzahl von kinematographischen Apparaten gebaut worden. Von diesen Apparaten gewann die durch *O. Messter* geschaffene Bauart besondere Bedeutung. Messter hatte von Anfang an erkannt, daß ein dauernder Erfolg nur bei richtiger Durchbildung der Filmschaltung möglich war. Er benutzte von Anfang an das Malteserkreuz. Die Verwendung dieses

Schaltmittels an sich war bekannt, nur um zwei Beispiele zu nennen, so hatte es bereits *Anschütz* verwendet, als auch *Edison* es versuchte. *Messter* hatte wohl aber als erster erkannt, daß das Malteserkreuz nur dann für die Filmschaltung wesentliche Vorteile bot, wenn es klein, mit geringer Masse ausgeführt wurde und mit tangentialem Eingriff arbeitete. Außerdem mußten aber auch alle anderen Teile, Filmführung, Bildfenster usw. sorgfältig gebaut sein. So wurde der erste Apparat von Messter bereits ein derartiger Erfolg, daß Messter vom Juni 1896 bis Ende des Jahres 1896 an 57 Kunden, darunter an mehrere je zwei Apparate liefern konnte. Anfänglich wurden hierzu Edisonsche Filme geliefert, die *Messter* aus London bezog. Schon im September 1896 baute er jedoch auch einen Aufnahmeapparat, im Oktober 1896 eine Kopiermaschine, und Ende 1896 hatte er vollständige Fabrikationseinrichtungen für die Aufnahme und Verarbeitung von Filmen, so daß er eigene Filmaufnahmen liefern konnte.

Von 1896 ab widmete *O. Messter* den Hauptteil seiner Arbeitskraft der Entwicklung der Kinotechnik. Messter war zwar in erster Linie Techniker, aber er führte auch Filmvorführungen und Filmaufnahmen durch, und stand so in Fühlung sowohl mit dem letzten Verbraucher, dem Zuschauer, als auch dem Gestalter des Bildinhaltes, dem Schauspieler und Spielleiter. Die technische Entwicklung war für ihn nicht Selbstzweck, sondern immer nur Mittel zu dem Zweck, ein bewegtes Bild von möglichster Güte zu erhalten.

Messter hat eine große Anzahl von kinotechnischen Verbesserungen geschaffen. So hat er bereits 1897 den Vor- und Nachwickler gebaut, nicht andrückende Führungsrollen, nierenförmige Druckstücke, Schwungrad auf der Achse der Stiftscheibe, ausbalancierte Umlaufblenden, Seitenschienen im Führungskanal und einen Wiedergabeapparat für Liebhaberzwecke geschaffen. Im gleichen Jahr führte er Motorantrieb für die Atelier-Aufnahmekamera ein, schuf eine Liebhaber-Aufnahmekamera, entwickelte einen Ansatz für Mikro-Kino-Aufnahmen und baute eine Aufnahmekamera für Breitfilm und Bildwechsel bis zu 32 Bilder je Sekunde. Sein Aufnahme-Atelier rüstete er mit Bogenlampen aus und stellte gewerbsmäßig laufend Filmaufnahmen her. Unter diesen Aufnahmen waren bereits 1897 Zeitrafferaufnahmen von erblühenden Blumen, technologisch-wissenschaftliche Aufnahmen von Stapelläufen großer Schiffe, wissenschaftliche Aufnahmen von chirurgischen Operationen, Gehstörungen und Geschoßwirkungen, sowie ein Werbefilm, daneben natürlich eine große Zahl von Spielszenen.

Der von *Messter* entwickelte Wiedergabeapparat wurde das Vorbild der heute noch gebräuchlichen Theatermaschinen, die allgemein übliche Form mit gekapseltem Werk mit selbsttätiger Schmierung und

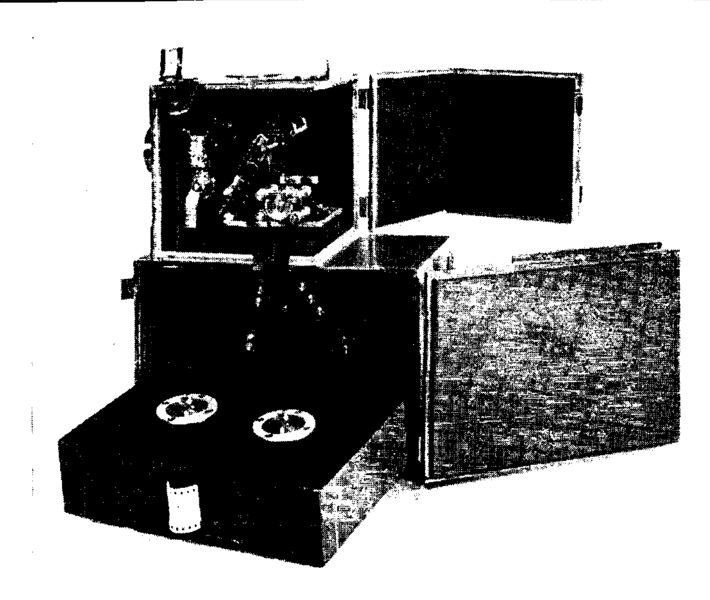


Abb. 6. Kinematograph mit vierteiligem Malteserkreuz von O. Messter, 1899

auswechselbarem Malteserkreuzgetriebe wurde in dieser Form erstmalig von Messter im Jahre 1912 als „Panzer-Kino" in den Handel gebracht.

Ungefähr zu der gleichen Zeit, als Messter das englische Gerät zur Ausbesserung vorgelegt wurde, erhielt der Berliner Mechaniker *M. Gliewe* einen ebenfalls sehr unzuverlässig arbeitenden französischen Projektor, den Isolatograph, zur Instandsetzung. Mitte Juli 1896, also ungefähr einen Monat nach der Lieferung des ersten vollständigen Apparates durch *Messter,* hatte *Gliewe* einen Projektor fertiggestellt, der ebenfalls mit einer Art Malteserkreuz arbeitete. Ein Beispiel mehr dafür, daß es 1896 für einen befähigten Mechaniker durchaus möglich war, in verhältnismäßig kurzer Zeit einen brauchbaren Projektor zu schaffen. *Messter* hörte von dem Glieweschen Apparat, und noch im Jahre 1896 kam eine Zusammenarbeit zwischen beiden zustande.

In den Jahren 1890 bis 1896 war eine Kinotechnik geschaffen worden, welche die gewerbliche Herstellung und Vorführung von lebenden Lichtbildern gestattete und die eine weite Verbreitung gefunden hatte. Die Vorführung von Projektionsbildern hatte nur noch einen großen Mangel, das starke Flimmern der Bilder. Es konnten deshalb nur kurze Filmstreifen von höchstens 1½ min Vorführungsdauer zur

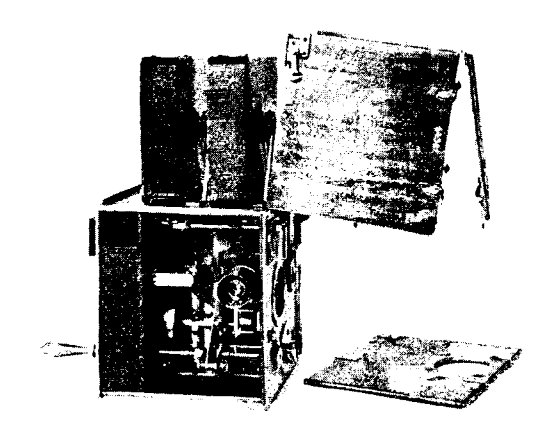


Abb. 7. Aufnahmegerät von O. Messter mit Objektiv-System für Atelieraufnahmen, 1914. Vorderansicht

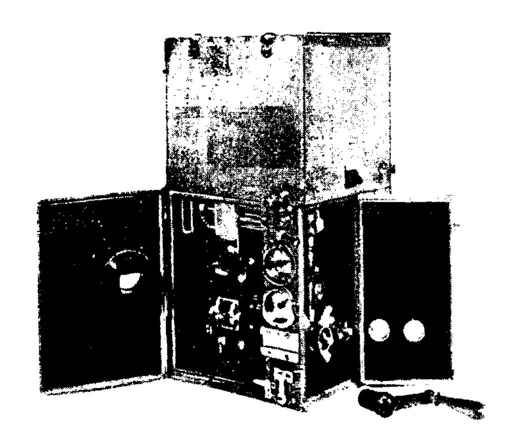


Abb. 8. Seitenansicht des Gerätes Abb. 7

Verwendung gelangen, und einschließlich der dazwischenliegenden Pausen konnte die ganze Vorführung nicht über 15 bis 20 min ausgedehnt werden, sollte sich bei der Mehrzahl der Zuschauer nicht ein starkes Schmerzen der Augen einstellen. Unter diesen Umständen konnten sich keine Filmvorführungen einführen, die besucht wurden, weil der Inhalt der Bilder zu einer wiederholten Betrachtung reizte. Es konnte keine länger dauernde Handlung, wie beispielsweise im Theater, im Film gezeigt werden. Solange ein so starkes Flimmern der Bilder herrschte, konnte der Film nur eine Schaubudenangelegenheit oder eine Zugabe anderer Veranstaltungen, beispielsweise eines Varie-

tés sein. Deshalb wurde auch mit einer gewissen Berechtigung damals von den Beteiligten der Kinematograph als eine voraussichtlich nur vorübergehende Erscheinung betrachtet. *Messter* machte die größten Anstrengungen, dem Film neue Anwendungsgebiete zu erschließen, damit die in diesen gesteckte Arbeit nicht verloren war, wenn in der erwarteten Weise der Film seine Zugkraft einbüßen sollte. Es wurden deshalb die verschiedensten Versuche durchgeführt, um das Flimmern zu beseitigen, beispielsweise durchsichtige Blenden, farbige Beleuchtung, durchlöcherte Fächer und sonstige Hilfsmittel. Es konnte wohl eine geringe Abschwächung des Flimmerns erreicht werden, aber eine ausreichende Beseitigung dieses Fehlers wollte nicht glücken.

Die geniale, einfache Lösung, welche auch noch heute angewendet wird und welche erst die Entwicklung des Filmes zu seiner heutigen Stellung ermöglichte, gelang 1901 dem Berliner Mechaniker *Th. Pätzold.* Dieser hatte sich 1897 von Messter einen Kinematographen gekauft und veranstaltete in der Provinz Vorführungen. Dabei versuchte er ständig Verbesserungen des Apparates zu schaffen. Das Ergebnis war die dreiflügelige Blende, die er Ende 1901 oder Anfang 1902 seinem „Skatbruder" *M. Gliewe* zeigte. Dieser berichtete Messter darüber, und seit Anfang 1902 wurden alle Messterschen Projektoren mit dreiflügeliger Blende geliefert. Die Bedeutung dieser ausschlaggebenden Verbesserung wurde zu dieser Zeit noch nicht allgemein anerkannt, noch mehrere Jahre lang wurden die verschiedensten Vorschläge zur Beseitigung des Flimmerns gemacht, bis 1910 *Marbe* in seiner Schrift „Theorie der kinematographischen Projektionen" die wissenschaftlichen Grundlagen des Flimmerns klarstellte.

Wichtig bei der Einführung der Dreifachblende durch Messter war es, daß das Messtersche Malteserkreuz eine Schaltzeit von nur ¼ der Zeit zwischen zwei Bildwechseln hatte und der Stillstand des Bildes ¾ dieser Zeit betrug. Hier verblieb zwischen den drei Flügeln der Blende noch ein ausreichender Hell-Winkel. Bei dem Greifer von *Lumière,* dessen Stillstand nur ²/₃ der Bildwechselzeit betrug, wäre der Hellwinkel bei einer symmetrischen Dreifachblende null geworden.

Die Dreifachblende war die letzte grundsätzliche Verbesserung, die erforderlich war, um die weitere Entwicklung des Lichtspieles zu einem allgemeinen Unterhaltungsmittel freizumachen.

Tonfilm

Bereits 1877 veröffentlichte *W. Donisthorpe* einen Plan, ein ihm 1876 patentiertes Lebensrad mit dem 1877 von *Edison* erfundenen Phonographen zu verbinden.

Edison begann seine Arbeiten am Kinematographen, um den Ton seines Phonographen durch ein bewegtes Bild zu ergänzen. Bereits bei

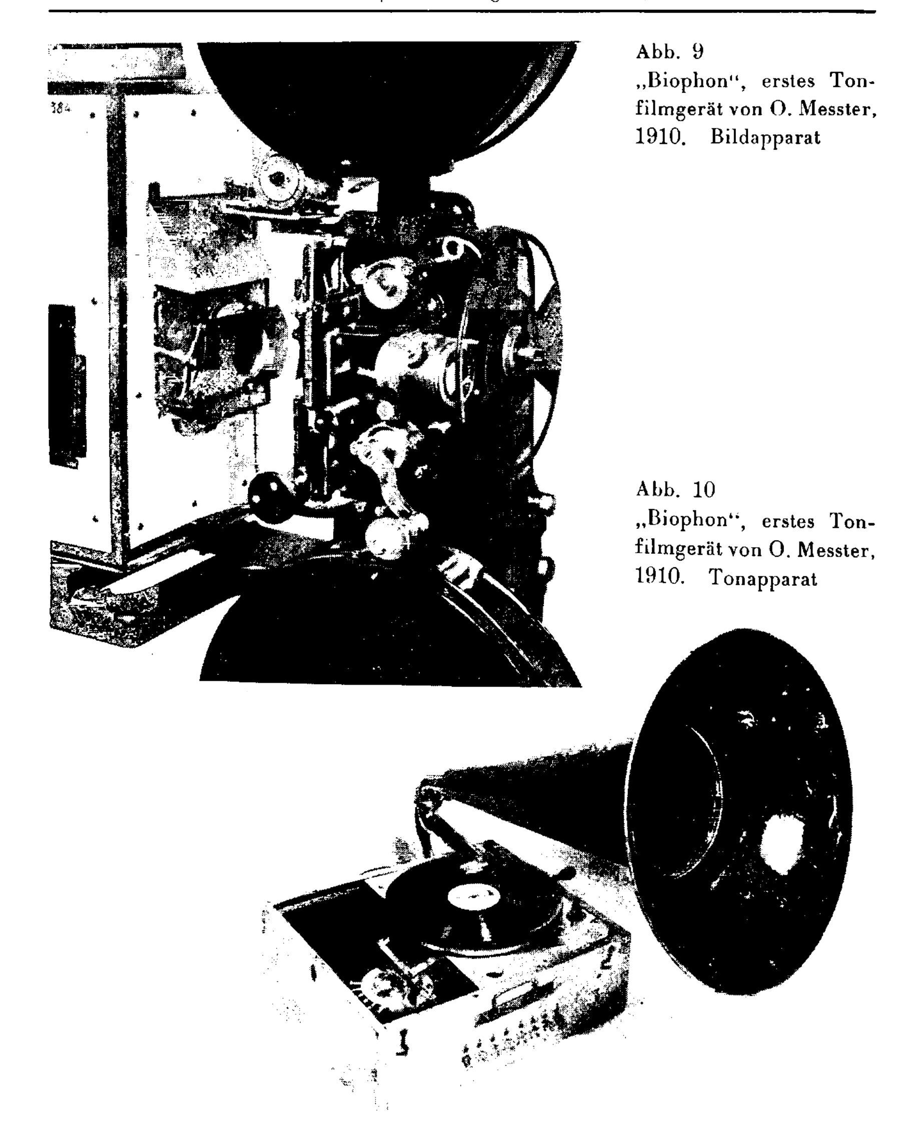


Abb. 9
„Biophon", erstes Tonfilmgerät von O. Messter, 1910. Bildapparat

Abb. 10
„Biophon", erstes Tonfilmgerät von O. Messter, 1910. Tonapparat

den ersten Versuchen wurden Ton- und Bildapparat verbunden. 1893 wurde das Kinetoskop in Verbindung mit einem Phonographen herausgebracht, so daß hier bereits „Tonbilder" geboten wurden.

Die ersten Projektionsbilder wurden als Stummfilme vorgeführt, da es Sprechmaschinen mit ausreichender Lautstärke nicht gab. Versuche wurden zwar frühzeitig begonnen, beispielsweise versuchte Messter bereits 1896 Kinematograph und Phonograph gleichlaufend vorzuführen.

L. Gaumont führte am 7. November 1902 in der Französischen Photographischen Gesellschaft zu Paris einen Kinematographen im Gleichlauf mit einem Grammophon vor, doch kam es anschließend hieran noch nicht zu einer Einführung von Tonfilmen. Inzwischen war auch *Messter* mit seinen immer wieder aufgenommenen Versuchen zu einem befriedigenden Ergebnis gekommen, und vom 30. August 1903 ab führte er im Apollotheater zu Berlin erstmalig Tonfilme vor. Zu jedem Kinoprogramm gehörte bald ein „Tonfilm". Es handelte sich dabei um Bilder, deren Länge der Spieldauer der damaligen Schallplatten angepaßt war. Die ersten „Tonfilme" wurden in der Weise hergestellt, daß zu einer vorhandenen, im Handel befindlichen Schallplatte, ein Bild gleichlaufend aufgenommen wurde. Bei der Bildaufnahme ließ man die Schallplatte ablaufen, und der Schauspieler bemühte sich, möglichst im Gleichlauf zu spielen. Erst später wurde Ton und Bild auch gleichzeitig aufgenommen.

Die mangelhafte Tontechnik der damaligen Zeit ermöglichte keine ausreichend lautstarke und klanglich befriedigende Tonwiedergabe, so daß diese ersten Tonfilme wieder allmählich außer Gebrauch kamen, als in den Jahren 1910 bis 1913 das stumme Lichtspiel anfing, einen gehaltvolleren Inhalt zu bekommen. In der Zeit von 1903 bis 1914 hatte *Messter* ungefähr 550 „Tonfilme" mit einer Gesamtlänge von ungefähr 30 000 m herausgebracht.

Neue Aussichten für den Tonfilm ergaben sich erst, als durch die Verstärkertechnik der Tonwiedergabe neue Möglichkeiten erschlossen wurden. Es ist das Verdienst dreier deutscher Erfinder, *Engl, Vogt* und *Masolle*, in den Jahren 1918 bis 1922 ganz planmäßig alle Einzelheiten eines hochwertigen Tonfilm-Verfahrens entwickelt zu haben. Ihr Leitgedanke war, daß eine wirkliche hochwertige Tonwiedergabe nur möglich ist, wenn möglichste Trägheitslosigkeit aller an der Tonaufzeichnung und Wiedergabe beteiligten Mittel angestrebt wird. Sie gingen dabei von der photographischen Aufnahme von Tönen aus, zu der *Ruhmer* bereits 1901 die grundlegenden Versuche durchgeführt hatte. Das Entscheidende war aber nicht diese Verwendung des Lichtton-Filmes, der auch von anderen benutzt wurde, *Lauste* 1906, *Lifschitz* 1910, *Berglund* 1910 und andere. Wesentlich war, daß *Engl, Vogt* und *Masolle* jede, aber auch jede Kleinigkeit ganz planmäßig untersuchten, Photozellen, Verstärker, steuerbare Lichtquellen, den photographischen Vorgang, Mikrophone und Lautsprecher. Der neue Tonfilm konnte noch

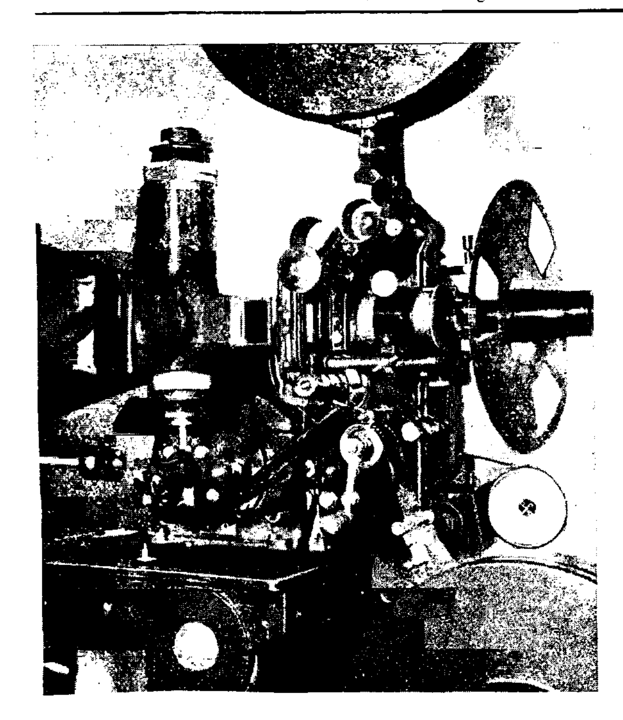


Abb. 11
Triergon-Tonfilm-Wiedergabegerät, 1923

weniger als die reine Bildwiedergabe durch eine geniale Idee geschaffen werden, sondern nur durch sorgfältigste Kleinarbeit.

1922 erfolgte die erste öffentliche Vorführung des Triergon-Verfahrens, wie das Verfahren zur Kennzeichnung der hier geleisteten Gemeinschaftsarbeit genannt wurde. Es wurde hier ein technisch vollendetes Verfahren geboten. Gleichlauf von Ton und Bild zeigte die höchste mögliche Vollkommenheit, war doch das gleiche Filmband Bild- und Tonträger. Die Tonwiedergabe selber zeigte eine Lautstärke und eine Wiedergabe von Feinheiten, wie sie bei anderen Tonwiedergabemitteln kaum bekannt war. Die Güte des Bildes entsprach dem bereits erreichten hohen Stande des bewegten Bildes. Technisch war alles gelöst, sogar viel besser gelöst, als die technische Aufgabe des bewegten stummen Bildes zu der Zeit, als dieses seine weitere Verbreitung fand.

Trotzdem setzte sich damals das Verfahren noch nicht durch. Der Grund hierfür dürfte in folgendem zu suchen sein: 1922 hatte der stumme Film eine beachtliche künstlerische Höhe erreicht. Es wurden Filme hergestellt, die dem Zuschauer bereits mehr boten, als einen reinen Zeitvertreib. Der fehlende Ton schränkte zwar die Ausdrucks-

möglichkeit ein, man hatte es aber bereits gelernt, durch abwechslungsreiche Bildfolgen, überraschende Standpunkte der Kamera und Verbundbilder diesen Mangel weniger fühlbar zu machen. Titel und besonders zusammengestellte Begleitmusik halfen über noch verbleibende Schwächen hinweg.

Vogt, Engl und *Masolle* waren ausgesprochene Techniker, die wohl die letzten technischen Feinheiten beachteten, die aber dem Inhalt ihrer Bilder keine besondere Beachtung schenkten. Ihre Versuchsaufnahmen wurden lediglich danach ausgesucht, ob sie besondere tonliche Schwierigkeiten boten, ob bei der Sprache die Zischlaute und bei den Musikinstrumenten die Klangfarbe richtig wiedergegeben wurde, und ähnliche technische Einzelheiten. Der Inhalt der Bilder selber war belanglos, ein Hühnerhof, dessen Geschehen zu keiner besonderen Betrachtung reizte, eine sogenannte Spielszene, bei der ein Ständchen gebracht wurde, ohne daß ein besonderer, inhaltlich begründeter Zweck des Bildes erkennbar war. Es wurde kein Bild gezeigt, das als Beispiel dafür gelten konnte, wie die künstlerische Ausdrucksmöglichkeit des Bildes durch den hinzukommenden Ton gesteigert werden konnte. Der Filmkünstler sträubte sich gegen die Ansichten, daß der Ton überhaupt eine Bereicherung der Ausdrucksmöglichkeit bringt und zwar aus durchaus verständlichen Gründen; denn seine eben erworbenen Fähigkeiten, durch das stumme Bild möglichst viel auszudrücken, wären dadurch wertlos geworden.

Um als Rummelplatz-Angelegenheit anzufangen, wie es seinerzeit der stumme Film getan hatte, dazu war der neue Tonfilm zu kostspielig, auch war die breite Masse der Zuschauer durch den stummen Film inzwischen so erzogen worden, daß ein solcher Versuch aussichtslos erschien.

So dauerte es noch rund sechs Jahre, ehe der Tonfilm sich durchsetzte. Es begann damit, daß eine amerikanische Firma den Tonfilm als letzten Rettungsanker gegen bestehende Schwierigkeiten aufgriff und die ersten großen Spielfilme schuf, bei denen der Ton als maßgebendes Ausdrucksmittel in den Ablauf der Handlung eingeflochten war. Eingestreute rührende Lieder konnten eben nicht durch noch so geschickte Bilder mit nebenherlaufender Begleitmusik ersetzt werden. Der große Erfolg dieser ersten, auch inhaltlich berechtigten Tonfilme wurde mit technischen Mitteln erreicht, die bei weitem nicht die Höhe besaßen, wie sie sechs Jahre vorher das von *Vogt, Engl* und *Masolle* entwickelte Verfahren bereits zeigte. Eine geringere technische Leistung wurde hier durch eine größere künstlerische Leistung mehr als aufgewogen.

Es dauerte zwar noch ein bis zwei Jahre, bis auch andere Beispiele für eine Erweiterung der Ausdrucksmöglichkeit durch den Ton gefun-

den wurden, und so lange konnten sich die rein optisch eingestellten Künstler damit trösten, daß der Tonfilm nur eine vorübergehende Erscheinung sein würde. Der endgültige Sieg des Tonfilmes war aber nicht ein Erfolg der fortschreitenden Technik, sondern wurde dadurch bedingt, daß die künstlerischen Gestalter des Filmes allmählich lernten, dieses neue Ausdrucksmittel so zu gebrauchen, daß damit auch Neues ausgedrückt wurde, was dem stummen Film verschlossen war.

Farbenfilm

Bereits *Edison* hatte einen „farbigen Film" für sein Kinetoskop in den Handel gebracht, eine Schleiertänzerin vor dunklem Hintergrund, die abwechselnd in verschiedenen Farben angemalt war. Später wurde das Kolorieren der Filme weiter entwickelt, besonders französische Firmen erreichten mit Hilfe mechanischer Koloriervorrichtungen beachtliche Leistungen. In Deutschland hat *Messter* ebenfalls in dieser Richtung gearbeitet.

1908 wurde der erste Farbenfilm gezeigt, bei dem die Farben photographisch erzeugt wurden, der Kinemacolor-Film von *A. Smith* und *Ch. Urban.* Es war ein Zweifarbenfilm, bei dem in zeitlichem Wechsel zwei Teilfarbenbilder projiziert wurden. Das hierbei auftretende, sehr störende Farbenflimmern und farbige Säume bei Bewegungen ließ keinen dauernden Erfolg zu, trotz einiger späterer Verbesserungen.

Eine ausführliche Schilderung der geschichtlichen Entwicklung des Farbenfilmes würde hier zu weit führen. Es können heute zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Verfahren unterschieden werden:

a) Optische Verfahren

Bei diesen werden an sich ungefärbte schwarz-weiß Bilder durch optische Systeme mit Farbenfiltern derart projiziert, daß ein farbiges Projektionsbild entsteht.

Diese Verfahren erfordern immer die Verwendung besonderer optischer Systeme, die im einfachsten Fall aus einem Objektiv bestehen, das bestimmten Öffnungsverhältnissen entspricht, und das eine farbig unterteilte Blende besitzt.

Die Behandlung der lichtempfindlichen Schichten erfordert nur die gleichen Verfahren, wie schwarz-weiß Bilder. Es ist hier nur darauf zu achten, daß ein bestimmter Verlauf der Schwärzungskurve eingehalten wird, was mit den heutigen Mitteln mit ziemlicher Sicherheit erreicht werden kann.

b) Chemische Verfahren

Hier werden Bildstreifen erzeugt, die bereits die gewünschten Farben zeigen, die Projektion erfolgt ohne jede Änderung durch den gleichen Apparat, mit dem auch schwarz-weiß Bilder projiziert werden.

Die Färbung der Bilder wird durch chemische Verfahren erzeugt, die wohl ausnahmslos erheblich verwickelter sind, als die einfache schwarz-weiß Entwicklung. Um bestimmte Farbtönungen zu erhalten, ist eine genaue Steuerung dieser Verfahren erforderlich.

Es ist in den letzten Jahren gelungen, die technischen Schwierigkeiten bei beiden Verfahren im wesentlichen zu beherrschen. In Deutschland ist im Berthon-Siemens-Farbfilmverfahren ein optisches Verfahren von großer Leistungsfähigkeit entwickelt worden, in Amerika sind besonders chemische Verfahren zu hoher Vollkommenheit gebracht worden.

Im Lichtspielhaus hat sich der Farbfilm noch nicht durchsetzen können, zwar werden wiederholt Farbfilme gezeigt, häufig Beiprogramm-Filme, vereinzelt auch längere Spielfilme, herrschend ist aber noch der schwarz-weiß Film.

Die Lage hat also eine gewisse Ähnlichkeit mit der des Tonfilmes um das Jahr 1922. Aus dieser Ähnlichkeit können folgende Schlüsse gezogen werden:

Ein restloses Durchsetzen des Farbfilmes in dem Maße, wie sich heute der Tonfilm durchgesetzt hat, wäre auf Grund einer rein technischen Entwicklung nur zu erwarten, wenn die Herstellung des Farbenfilmes weder schwieriger noch teurer als die Herstellung von schwarz-weiß Filmen wäre. Beides ist heute nicht der Fall, und auch in absehbarer Zukunft wird der Farbfilm in der Herstellung teurer als der schwarz-weiß Film sein. Soll er sich trotzdem durchsetzen, dann darf die Farbe nicht eine nebensächliche Zugabe sein, sondern sie muß wirklich neue Ausdrucksmöglichkeiten erschließen. Dieses ist allerdings nicht ganz in dem Maße möglich, wie bei dem Tonfilm. Das menschliche Denken vollzieht sich heute sowohl in sinnlichen Vorstellungen, wobei die optischen vorherrschen, als auch in einem sprachlichen Ordnen dieser Vorstellungen. Um eine Denkfolge zu übermitteln, genügt es nicht, wenn lediglich eine Folge von Bildern geboten wird, es müssen auch sprachliche Zusammenhänge, verbindende Wortfolgen geboten werden. Nur in ganz einfach gelagerten Fällen reicht ein „Bilderbogen“ aus, andererseits reicht das Wort allein nur dann aus, wenn bestimmte optische Vorstellungen als bekannt vorausgesetzt werden können.

Der stumme Film war nur ein Bilderbogen, mit gelegentlichen Unterschriften (Titeln). Seine Ausdrucksmöglichkeit war deshalb beschränkt, er setzte im Grunde eine Kenntnis des sprachlich erfaßbaren

Geschehens voraus. Der Ton, besonders das gesprochene Wort, ist deshalb eine ausschlaggebende Ergänzung des Bildes, der bei etwas tiefergehenden Zusammenhängen erst ein Verstehen ermöglicht.

Die Farbe spielt für das Verständnis bei weitem nicht die Rolle, wie der Ton. Sie kann vielleicht manchmal ein Erkennen von Einzelheiten des Bildes erleichtern, das Verständnis für den Ablauf des Geschehens und seiner Zusammenhänge wird durch das Hinzukommen der Farbe nicht gefördert. Dagegen ist die Farbe für die Übermittelung einer Stimmung von großer Bedeutung. So liegt beispielsweise die Stimmung einer Frühlingslandschaft zum großen Teil in dem Wiedererwachen der Farbe, im Gegensatz zu den farbenarmen Winterlandschaften. Die Farbe spielt eine ähnliche Rolle wie die Musik, die ein verstandesmäßiges Erfassen nicht fördert, aber ein gefühlsmäßiges Mitempfinden häufig erst ermöglicht. Es ist wahrscheinlich kein Zufall, daß das früher übliche verschiedenfarbige Anfärben stimmungsgemäß unterschiedlicher Bilder aufhörte, als eine dem Bilde angepaßte Begleitmusik üblich wurde.

Manche Stimmungen kann das schwarz-weiß Bild nicht vermitteln, der heutige Film muß dann die Musik einsetzen, auch wenn diese nicht ganz das richtige Mittel ist. Hier liegen die Aufgaben für die Farbe als einem wesentlichen Ausdrucksmittel. Ein dauernder Erfolg des Farbenfilmes hängt davon ab, wieweit die künstlerischen Gestalter des Filmes diese Zusammenhänge erfassen und beherrschen lernen.

Der Techniker hat hier aber auch noch eine wichtige Aufgabe zu erfüllen. Die Farbe kann ihre Aufgabe als wesentliches Ausdrucksmittel nur erfüllen, wenn dem Künstler weitgehende Möglichkeit geboten wird, die Farbtönungen zu beeinflussen.

Von diesem Gesichtspunkt aus erscheinen die optischen Verfahren den Vorzug zu verdienen. Das Berthon-Siemens-Verfahren gestattet nach der Aufnahme bei einer Probevorführung die Farbtönungen durch verschiedenes Abdecken der Farbfilter zu verändern, und die so mechanisch-optisch festgelegten Farbwerte können bei späteren Vorführungen mit Sicherheit wiederholt werden. Es ist hierzu nur erforderlich, daß die Filter des Vorführapparates bestimmte Werte haben, die Tonwerte werden beim Kopiervorgang durch entsprechendes Verändern der Kopierblenden eindeutig in der Kopie festgelegt. Eine gleiche Sicherheit in der eindeutigen Wiederholung der Farbwerte ist heute bei den chemischen Verfahren noch nicht möglich, oder erfordert mindestens einen sehr erheblichen Aufwand an Mehrarbeit. Möglicherweise dürfte die Sicherheit der Farbwiedergabe den Ausschlag für die Verwendung der optischen Verfahren beim Spielfilm geben.

Plastischer Film

Unter plastischem Film ist jeder Film zu verstehen, der eine Tiefenwirkung vortäuscht. Der Tiefeneindruck der räumlichen Umwelt wird durch verschiedene Teilwerte des menschlichen Sehens hervorgerufen, die in zwei Gruppen unterteilt werden können:

a) Physiologische Teilwerte

Änderung der Überschneidungen verschiedener Gegenstände bei Bewegung der Augen (Eisenbahnwirkung),
verschiedene Überdeckung der Gegenstände für beide Augen (zweiäugiges oder stereoskopisches Sehen),
Änderung der Schiefstellung der Augenachsen für verschiedene Raumtiefe,
Änderung des Sehwinkels, unter dem ein Gegenstand in verschiedenen Entfernungen erscheint,
Scharfeinstellung der Augenlinse (Akkomodation).

b) Psychologische Teilwerte

Scheinbare Größe und gegenseitige Lage der Dinge zueinander,
Verlauf der Begrenzungslinien (Perspektive),
Schattenfall,
Luftschleier (Helligkeitsumfang).

Im gewöhnlichen Leben werden zur Beurteilung der Tiefenausdehnung bei kleinen Entfernungen, besonders bei Dingen in „Reichweite" hauptsächlich die physiologischen Teilwerte herangezogen. Je größer die Entfernungen werden, eine um so geringere Rolle spielen die physiologischen Teilwerte. Bereits bei Entfernungen von wenigen Metern werden sie nur aushilfsweise herangezogen, bei 20 bis 30 m Entfernung und mehr werden sie im gewöhnlichen Fall überhaupt nicht mehr beachtet.

Bei allen Darstellungen in einer Fläche werden immer nur einige Teilwerte richtig wiedergegeben. Für die falsch wiedergegebenen Teilwerte sind zwei Fälle zu unterscheiden. Wird der betreffende Teilwert so falsch wiedergegeben, daß er das Zustandekommen einer Tiefenwirkung verhindert, so liegt der Fehler innerhalb des Störwertes. Ist der Fehler in der Wiedergabe des Teilwertes jedoch so gering, daß er nur bei besonderer Aufmerksamkeit bemerkt werden kann, dann liegt er innerhalb des Merkwertes.

Der Störwert der physiologischen Teilwerte liegt bei Tiefen von 1 bis 3 m, d. h. nur bei Bildern, die aus geringerer Entfernung als 1 bis 3 m betrachtet werden, kann die fehlerhafte Wiedergabe dieser physiologischen Teilwerte das Entstehen eines Tiefeneindruckes stören. Der Merkwert liegt bei 20 bis 50 m (nur bei besonders befähigten Menschen, Beobachtern an Entfernungsmessern, steigt der Merkwert

auf 200 bis 400 m), d. h. nur bei Bildern, die aus kleineren Entfernungen als 20 bis 50 m betrachtet werden, kann die Wiedergabe der physiologischen Teilwerte bemerkt werden. Nur für die Eisenbahnwirkung kann bei schneller Bewegung des Beobachters der Merkwert erheblich größer werden.

Die Bedeutung des zweiäugigen Sehens wird meistens stark überschätzt. Nur bei der Betrachtung kleiner Bilder wird hier der Störwert der Entfernung stark unterschritten. Die reizvolle Wirkung stereoskopischer Bilder beruht darauf, daß bei Bildern, die in einer Entfernung betrachtet werden, die kleiner als die Störentfernung des zweiäugigen Sehens ist, der Teilwert des zweiäugigen Sehens wiedergegeben wird. Je größer die Entfernung des Bildes vom Betrachter ist, um so geringer ist die Wirkung des zweiäugigen Sehens.

Im Lichtspielhaus werden die Bilder von den meisten Plätzen aus einer Entfernung betrachtet, die größer als die Störentfernung ist, und die für die hinteren Plätze eines großen Lichtspielhauses bereits von der Größenordnung der Grenze der Merkentfernung ist. Die psychologischen Teilwerte können bereits mit den heutigen Mitteln alle richtig wiedergegeben werden. Von den physiologischen Teilwerten wird die Eisenbahnwirkung und die Änderung der Sehwinkel mit den Bewegungen der Objekte ebenfalls richtig wiedergegeben. Das Fehlen der übrigen drei physiologischen Teilwerte kann das Zustandekommen eines Tiefeneindruckes nicht mehr erheblich stören.

Für das Lichtspielhaus, besonders für das große Lichtspielhaus, haben wir heute bereits den plastischen Film. Jeder Film, bei dessen Aufnahme die psychologischen Teilwerte richtig berücksichtigt wurden, zeigt hier eine Plastik, die beispielsweise durch das Hinzukommen des stereoskopischen Teilwertes nicht mehr wesentlich gesteigert werden kann.

Der beste Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung sind die jetzt in Frankreich laufenden stereoskopischen Filme. Es werden hier hauptsächlich filmische Scherze gezeigt, beispielsweise einen sich scheinbar in die Zuschauermenge ergießenden Wasserstrahl, die Großaufnahme eines Posaunenbläsers, der sein Instrument scheinbar dem Zuschauer vor die Nase stößt, und ähnliches.

Für den Spielfilm bedeutet das Hinzukommen des einen oder anderen, heute noch fehlenden physiologischen Teilwertes keinen Zuwachs an inhaltlichen oder stimmungsmäßigen Ausdrucksmöglichkeiten. Eine Umwälzung, wie sie seiner Zeit der Ton brachte, und wie sie in nächster Zeit vielleicht die Farbe bringt, ist hier nicht zu erwarten.

Anders liegen die Verhältnisse beim Lehrfilm. Soweit hier Dinge gezeigt werden, die man üblicherweise in Reichweite betrachtet, kann

das Hinzukommen weiterer physiologischer Teilwerte eine Verbesserung bringen. Bei wissenschaftlichen Aufnahmen kann namentlich bei Aufnahmen mit vergrößerter Basis die Stereoaufnahme einen wertvollen Gewinn bringen. Auch beim Liebhaberfilm kann der stereoskopische Film Bedeutung bekommen, da er noch Aufnahmen reizvoll erscheinen läßt, die bildmäßig mangelhaft sind. Auch in der Stereophotographie gilt ja die Regel, daß man die Regeln der bildmäßigen Photographie möglichst grob verletzen soll, um überraschende Stereobilder zu erhalten. Das Verletzen der bildmäßigen Regeln ist leichter als ihr Befolgen, und hier kann das Stereobild noch Aufgaben erfüllen.

Die Verfahren für stereoskopische Projektion sind seit langem bekannt. 1853 hat *Fabre* und 1858 *J. Ch. d'Almeida* das Verfahren der durch Komplementärfarben getrennt sichtbar gemachten Stereobilder und das durch gleichlaufende Blenden getrennte Stereoskopbild angegeben. Ersteres (Anaglyphen) wird seit einiger Zeit wieder in Frankreich benutzt. *Anderton* hat bereits vor 1906 die Trennung der beiden Teilbilder durch Polarisationsprismen durchgeführt. Es dürfte jetzt hauptsächlich in Frage kommen, seitdem handliche und verhältnismäßig preiswerte Polarisationsfilter zur Verfügung stehen. Dieses Verfahren wurde auch auf der Olympiade 1936 in Berlin zur Stereoprojektion der am Zielpunkt gemachten Aufnahmen angewendet.

Fernsehen

Auf die Technik des Fernsehens soll hier nicht eingegangen werden, sondern es soll nur kurz gezeigt werden, daß aus der Geschichte des Filmes auch für die weitere Entwicklung des Fernsehens wichtige Hinweise gewonnen werden können.

Für den Rundfunk hat das Fernsehen die gleiche Bedeutung, wie seinerzeit der Tonfilm für die Kinematographie, nur daß hier der vorhandene Ton durch das Bild zu ergänzen ist. Für das Fernsehen im Rundfunk gilt sinngemäß mit dieser Umkehrung auch das oben über den Tonfilm Gesagte. Wichtig ist hier die Erkenntnis, daß eine hochentwickelte Technik allein nicht ausreicht, der ausübende Künstler muß auch die Möglichkeiten des neuen Mittels entsprechend ausnutzen können. Das Muster des Tonfilmes nützt hier dem Künstler wenig. Beim Tonfilm liegt das Schwergewicht im Bild, der Ton ist die Ergänzung. Beim Fernsehen muß das Schwergewicht im Ton liegen, das Bild ist hier nur Ergänzung. Dieses wird dadurch bedingt, daß das Fernsehbild im Verhältnis zum Filmbild sowohl heute als auch in einer absehbaren Zukunft weniger gut ist. Das für die Wirkung Ausschlaggebende des Filmbildes liegt häufig in den letzten Feinheiten, die das Fernsehbild nicht wiedergeben kann. Im Heimfernseher wird das Bild auch unter ganz anderen Bedingungen betrachtet als im

Lichtspielhaus. Allein der Umstand, daß die Betrachtungsentfernung hier meistens innerhalb der Störentfernung liegt, bedingt schon eine ganz andere Bildwirkung.

Um das Schicksal des Triergon-Verfahrens zu vermeiden, ist beim Fernsehen bereits frühzeitig darauf zu achten, daß die dieser Technik gemäßen künstlerischen Ausdrucksformen gefunden werden.

Ein allgemeiner Ersatz des Filmprojektors im Lichtspielhaus durch einen Fernsehprojektor steht nicht zu erwarten. Die unmittelbare Projektion eines Filmes dürfte immer wirtschaftlicher sein, als der Umweg über die elektrische Fernsendung, selbst wenn eine gleiche Güte erreichbar sein sollte. Das schließt nicht aus, daß in absehbarer Zeit der Fernsehprojektor neben dem Filmprojektor eine gewisse Rolle für die Fälle spielt, in denen eine Bildübertragung ohne Zeitverlust wichtig ist. Ein dauernder Erfolg ist aber auch hier nur zu erwarten, wenn es gelingt, geeignete Sendungen zu gestalten, bei denen die Unmittelbarkeit der Übertragung wirklich ein wesentliches Mittel zur Gestaltung des Gesamteindruckes ist.

Diese Beispiele dürften ausreichen, um zu zeigen, daß aus der Kenntnis des geschichtlichen Werdens heraus zahlreiche Anhaltspunkte gewonnen werden können, die eine Stellungnahme zu den Tagesfragen der betreffenden Technik erleichtern.

Namenverzeichnis

Schrifttum

F. Paul Liesegang, Zahlen und Quellen zur Geschichte der Projektionskunst und Kinematographie. Deutsches Druck- und Verlagshaus Hackebeil, Berlin 1926.

Die Entwicklung der Funkentelegraphie

Von *J. Zenneck VDI,* München

Auf manchen Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik ist die Entwicklung brav und bieder ihren Weg gegangen. Ohne Aufwand von allzuviel originellen Gedanken hat man die ursprünglich nur unvollkommenen Geräte Schritt für Schritt verbessert und ist schließlich zu ausgezeichneten Erfolgen gekommen. So war es z. B. beim Transformator in der Elektrotechnik. Ein neuzeitlicher Transformator unterscheidet sich in keinem wesentlichen Punkt von einem vor fünfzig Jahren. Man kann heute noch die Wirkungsweise des Transformators ebenso gut an einem gut erhaltenen Veteranen aus den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wie an einem eben aus der Fabrik gekommenen erläutern. Der letztere ist allerdings praktisch brauchbarer: in fünfzigjähriger Kleinarbeit ist der Wirkungsgrad, die Isolation, die mechanische Festigkeit erhöht und das Gewicht bei vorgegebener Leistung verringert, das Aussehen gefälliger geworden. Aber etwas wesentlich Neues ist nicht hinzugekommen. Auch der Verwendungsbereich ist in der langen Zeit der Entwicklung merklich derselbe geblieben: Heute wie vor fünfzig Jahren verwendet man, wenn man vom Induktionsofen absieht, den Transformator, um in elektrischen Anlagen Spannungen bzw. Ströme herunter oder herauf zu transformieren.

Die folgende kurze Skizze der Entwicklung der Funkentelegraphie soll an einem Beispiel eine ganz anders geartete Entwicklung zeigen. Sie ist gekennzeichnet durch die Nutzbarmachung immer neuer Gedanken und immer neuer physikalischer Erscheinungen, durch ungewöhnliche Erfolge und durch die Erweiterung ihrer Verwendung weit über das Gebiet hinaus, für das sie ursprünglich bestimmt war.

A. Sender

I. Gedämpfte Schwingungen (Funkensender)

Der erste Sender *Marconis,* der praktisch verwendet wurde (1896), war derjenige der schematischen Abb. 1: Eine vertikale Antenne, die am unteren Ende geerdet und in der Nähe des unteren Endes durch eine Funkenstrecke F unterbrochen war. Die beiden Pole der Funkenstrecke waren an einen Funkeninduktor angeschlossen. Wurde der obere Teil der Antenne auf eine genügend hohe Spannung geladen, so schlug ein Funke zwischen den Polen der Funkenstrecke über, und

die Antenne entlud sich in Form von gedämpften elektrischen Schwingungen, die zur Aussendung gedämpfter elektromagnetischer Wellen Anlaß gaben.

Die Funkenanordnung war zu jener Zeit die Normalmethode zur Erzeugung gedämpfter elektrischer Schwingungen. Schon *W. Feddersen* hatte sie (1861) bei seinen Untersuchungen der Schwingungen von Kondensatorkreisen und *H. Hertz* (1888) zur Erzeugung der Wellen seiner Dipole verwendet. Außerdem hatte *N. Tesla* schon 1893 eine Anordnung zur Fernübertragung ohne Drähte angegeben, die aus einem vertikalen Luftleiter mit einer horizontalen Platte oben und einer Erdplatte unten bestand; eine in den Draht eingeschaltete Hochfrequenzmaschine sollte die Schwingungen liefern. Marconi hat aber durch seine Versuche den Nachweis erbracht, daß seine Anordnung geeigneter war als alle bisher bekannten, um Zeichen auf größere Entfernungen zu übertragen. Seine Versuche bedeuteten den Beginn der praktischen drahtlosen Telegraphie.

Man — und zwar wohl auch Marconi — war sich damals über die Vorgänge, insbesondere über die Frequenz der Schwingungen nicht ganz klar. Man dachte vielfach daran, daß Schwingungen sehr hoher Frequenz (ganz kurzer Wellenlänge) in der Funkenstrecke entstehen, an der Antenne entlang wandern und in den Raum ausgestrahlt werden. Der praktische Nachteil der Anordnung Abb. 1 war der, daß der einzige Weg zur Vergrößerung der Energie die Steigerung der statischen Spannung war, zu der man die Antenne auflud und die schon wegen der Isolation Grenzen hatte. Klarheit der Verhältnisse, d. h. gut definierte und zwar verhältnismäßig große Wellenlänge, und nach den damaligen Anschauungen beinahe beliebige Steigerung der Energie wollte *F. Braun* (1898) mit seinem Sender, Abb. 2, erreichen. Statisch aufgeladen wird nicht die Antenne, sondern ein leicht isolierbarer Kondensatorkreis; er entlädt sich dann durch die Funkenstrecke F mit genau berechenbarer Frequenz (bzw. Wellenlänge) und überträgt die Schwingungen durch Induktion auf die Antenne, die die Wellen aussendet. Bei Versuchen mit dieser Anordnung kam man ganz von selbst auf die Bedeutung der Resonanz zwischen primärem Kondensatorkreis und der Antenne, die aus den Versuchen von *O. Lodge* und besonders denjenigen von *N. Tesla* bekannt war — der mit der gestrichelten Linie umränderte Teil von Abb. 2 ist ja im Grunde nichts anderes, als was man damals einen Tesla-Transformator nannte —. Auf die Verwendung der Resonanz zwischen beiden Kreisen des Senders, zwischen den beiden Kreisen des Empfängers und zwischen Sender und Empfänger hat *Marconi* ein bekanntes und viel umstrittenes Patent bekommen; es ging in den damaligen Patentbüros unter dem Spitznamen „4 mal 7-Patent“ wegen seiner englischen Nummer 7777.

Die angegebene Auffassung der Braunschen Anordnung war nicht ganz richtig. In Wirklichkeit ist bei einem solchen gekoppelten Sender, wenn die Kopplung nicht ganz lose ist, der Stromverlauf im Primär- und Sekundärkreis ungefähr derjenige von Abb. 3: Man erhält in beiden eine Art Schwebung. Das bedeutet vom Standpunkt der Frequenz aus, daß in beiden Systemen zwei Schwingungen von verschiedenen Frequenzen entstehen und dadurch die volle Ausnützung der Resonanz in der Antenne unmöglich machen. Vom Standpunkt der Energie aus heißt es, daß nicht nur Energie vom Kondensatorkreis auf die Antenne, sondern auch umgekehrt von der Antenne auf

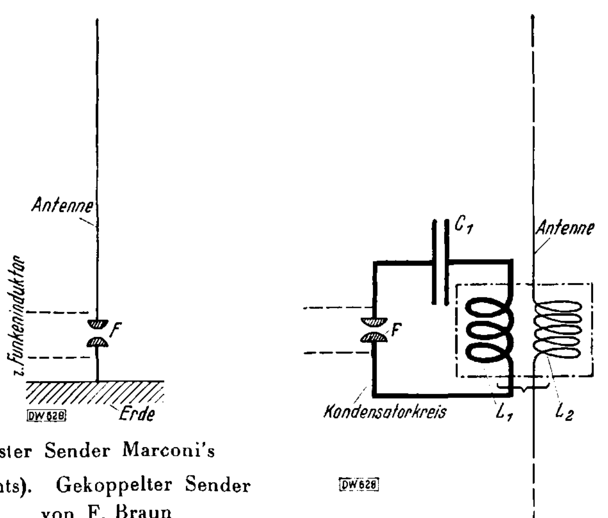


Abb. 1. Erster Sender Marconi's

Abb. 2 (rechts). Gekoppelter Sender von F. Braun

den Kondensatorkreis übertragen und dort natürlich zum Teil verbraucht wird. Das Ideal würde also ein gekoppelter Sender sein, bei dem der Kondensatorkreis möglichst seine ganze Energie auf die Antenne überträgt, aber, sobald das geschehen ist, unterbrochen wird, so daß keine Rückübertragung von Energie aus der Antenne zustande kommen kann. Das ist von *M. Wien* (1908) verwirklicht worden durch die Ausnützung einer Eigenschaft von k u r z e n Metallfunkenstrecken, der sog. „Löschwirkung“: sobald der Strom durch eine solche Funkenstrecke sehr schwach wird, verliert sie ihre Leitfähigkeit und reißt ab. Der Stromverlauf wird dann im Kondensatorkreis und in der Antenne derjenige von Abb. 4: Wenn nach der ersten halben Schwebungsperiode (Abb. 3) die Energie praktisch vollkommen vom Kondensatorkreis auf die Antenne übertragen ist, scheidet der Kondensatorkreis aus und die Antenne schwingt mit ihrer eigenen Frequenz und ihrer eigenen

Dämpfung, die durch Einschaltung von Spulen stark erniedrigt werden kann, weiter. Sie kann nun die Wellen ausstrahlen, ohne einen Teil ihrer Energie wieder an den Kondensatorkreis zurückgeben zu müssen.

Der „Löschfunkensender" besitzt noch einen weiteren Vorteil (*R. A. Fessenden*). Er gestattet die Verwendung sehr hoher Funkenzahlen, z. B. 500/s. Im Empfängertelephon entsteht dann bei regel-

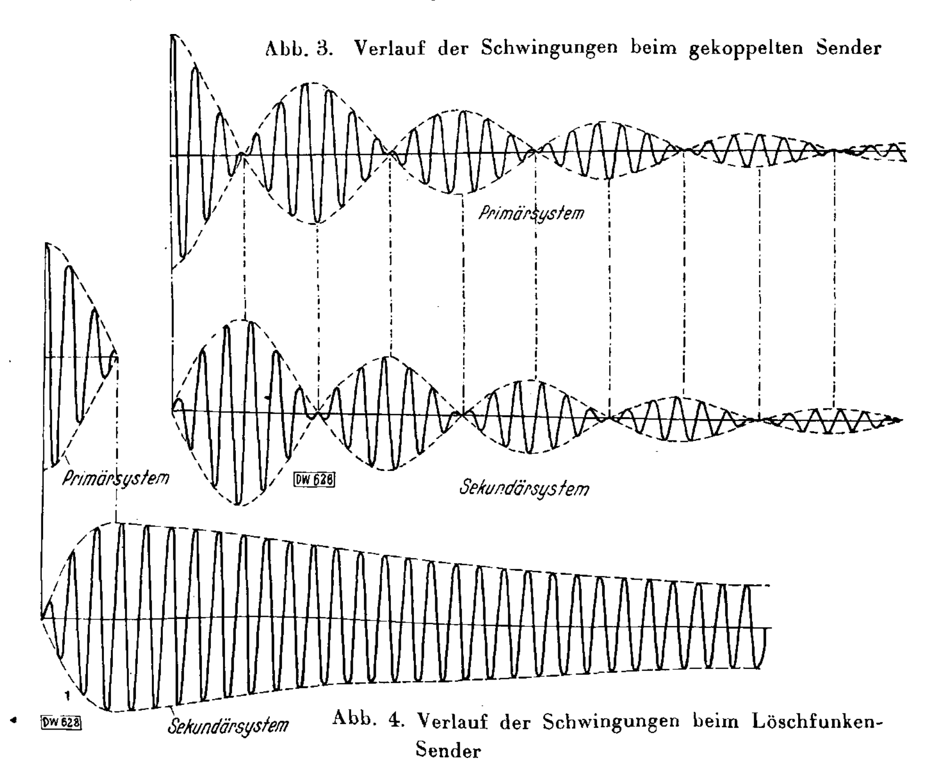


Abb. 3. Verlauf der Schwingungen beim gekoppelten Sender

Abb. 4. Verlauf der Schwingungen beim Löschfunken-Sender

mäßiger Funkenfolge ein hörbarer Ton von der Funkenfrequenz (z. B. 500/s), der vom Funker, insbesondere bei atmosphärischen Störungen, viel besser gehört werden kann als das Knacken, das man im Empfangstelephon hört, wenn im Sender gewöhnliche Funkenstrecken mit geringer Funkenzahl — man hat ihnen wegen ihres Geräusches den Namen „Knallfunken" gegeben — benützt werden. Der Löschfunkensender hoher Funkenzahl — man sprach damals von „tönenden Funken" oder allgemein „Tonsendern" — ist von Telefunken in ausgezeichneter Weise entwickelt worden. Es

ist heute schon beinahe vergessen, daß der Löschfunkensender mit tönenden Funken ein sprunghaftes Ansteigen der Stationenzahl zur Folge hatte und daß noch am Anfang des Weltkrieges 1914 der Sender in Sayville (Long Island), der den Verkehr mit Deutschland vermittelte, ein Löschfunkensender war. Er ist noch heute trotz der Entwicklung der neuzeitlichen Funkentelegraphie für Hilfssender auf Rettungsbooten vorgeschrieben und stellt zweifellos die höchste Stufe eines Senders für gedämpfte Wellen dar.

II. Ungedämpfte Schwingungen

1. Maschinen-Sender

Darüber, daß es für die Wirkung viel günstiger sein würde, wenn man statt der gedämpften Schwingungen der Funkensender ungedämpfte Schwingungen verwendete, waren diejenigen, die etwas von elektrischen Schwingungen verstanden — es waren damals nicht gerade sehr viele, — sich durchaus einig. Wenn man trotzdem lange Zeit keine ernsthaften Bemühungen machte, sie in der Funkentelegraphie einzuführen, so war der Grund einfach der, daß man glaubte, für die Funkentelegraphie sehr hohe Frequenzen, d. h. kurze Wellenlängen, nötig zu haben (vgl. S. 29). Die Wellenlängen, mit denen man damals arbeitete, waren von der Größenordnung einiger hundert Meter, die Frequenz also um 1 000 000/s herum. Man verzweifelte daran, solche Frequenzen jemals mit Maschinen, mit denen man sonst ungedämpfte Schwingungen herstellte, erzeugen zu können. Wenn also *R. A. Fessenden* schon im Jahre 1902 ein ziemlich allgemeines Patent auf die Verwendung von ungedämpften Schwingungen für drahtlose Telegraphie einreichte, so war es nicht viel mehr als der Versuch, einen frommen Wunsch patentieren zu lassen. Immerhin hat Fessenden schon in dieser Patentschrift davon gesprochen, daß er l a n g e ungedämpfte Wellen verwenden wolle. Es mag dahingestellt bleiben, ob darin die Einsicht lag, daß längere Wellen günstiger sein würden als die damals benützten verhältnismäßig kurzen, oder ob er aus der Not eine Tugend gemacht und von langen Wellen ausdrücklich gesprochen hat, weil die Herstellung von kurzen damals denn doch zu unwahrscheinlich war. *Fessenden* hat auch nach einem Konstrukteur gesucht, der imstande war, eine brauchbare Hochfrequenzmaschine zu bauen. Unter Verwendung von Konstruktionsgedanken *Tesla's*, des Pioniers der Hochfrequenztechnik, der auch schon eine Hochfrequenzmaschine gebaut hatte, insbesondere der sog. Tesla-Wicklung, hat dann *E. F. W. Alexanderson* bei der General Elektric Co. ein elektrotechnisches Kunstwerk geschaffen: einen Generator, der eine Frequenz von 50 000/s unmittelbar in die Antenne lieferte und tatsächlich lange Zeit im Gebrauch war. Die technischen Schwierigkeiten für so hohe Frequenzen sind ungeheure. Die Frequenz einer

Hochfrequenzmaschine ist gleich dem Produkt aus der sekundlichen Drehzahl und der Zahl der Zähne — es handelte sich immer um Gleichpolmaschinen — oder entsprechender Gebilde des Rotors. Sehr hohe Frequenzen sind also nur durch sehr hohe Drehzahlen und äußerst feine Einteilung des Rotors und Stators zu erreichen. Und dabei soll noch die „Nebenbedingung" erfüllt werden, daß die Maschine elektrische Hochfrequenzenergie und nicht etwa Wärme durch Wirbelströme und sonstige Verluste erzeugt! Es hat meines Wissens niemand gewagt, *Alexanderson* die Weltmeisterschaft auf dem Gebiet der Hochfrequenzmaschinen streitig zu machen.

Inzwischen war aber auch ein ganz anderer Gedanke aufgekommen, der schon 1899 von *J. Zenneck* angegeben und experimentell ausgeführt war, der Gedanke der Frequenzwandler: mit der Maschine unmittelbar wird eine geringere Frequenz erzeugt, sie wird aber nachher durch ruhende Frequenzwandler vervielfacht. Zur Ausführung dieses Gedankens hatte Zenneck elektrische Gleichrichter verwendet, durch Ausnützung der magnetischen Eigenschaften von Eisen wurde derselbe Zweck in günstigerer Weise von den verschiedensten Männern (*Epstein, Jolly, G. Vallauri*) erreicht. Auf diesem Gedanken beruhte die Hochfrequenz-Maschinenanlage, die 1911 in Nauen und Anfang 1915 in der Gegenstation in Sayville (Long Island) von Telefunken aufgestellt wurde und während eines großen Teils des Weltkrieges dort gearbeitet hat. Die Maschine gab unmittelbar nur eine Frequenz von 8000, ein zweistufiger Frequenzwandler brachte sie auf die Frequenz von 32 000, die der Antenne zugeführt wurde.

Von den anderen Verfahren zur Frequenzvervielfachung unter Ausnutzung der magnetischen Eigenschaften von Eisen, ist besonders einfach dasjenige, das *C. Lorenz* längere Zeit gebaut hat und das in Abb. 5 schematisch dargestellt ist. An die Hochfrequenz-Maschine M ist ein auf ihre Frequenz abgestimmter Kondensatorkreis angeschlossen, der außer einer großen eisenfreien Induktivität L einen Transformator L_e mit Eisenkern enthält. An den Sekundär-Klemmen desselben liegt im einfachsten Fall der Antennenkreis, der auf ein ungerades Vielfaches der Maschinenfrequenz abgestimmt ist. Die Spannung am Transformator ist ungefähr von der Form der Kurve a in Abb. 6, der Antennen-Strom von der Form der Kurve b. Die Schwingungen der Antenne werden in jeder Periode der Maschine zweimal in richtiger Phase angestoßen und fallen sehr langsam ab. Das Verfahren verzichtet also auf Schwingungen von konstanter Amplitude, aber nähert sich diesem Falle in praktisch ausreichender Weise.

Die Aufgabe mit einer Maschine handlicher Drehzahl ungedämpfte Schwingungen hoher Frequenz herzustellen, ist noch von ganz anderer Seite angefaßt worden. Wenn sich ein Anker in einem Gleichstrom-

Feld dreht, so liefert er eine Frequenz f, die durch seine Pol- und Drehzahl gegeben ist. Schickt man nun außer dem Gleichstrom noch einen Strom von der Frequenz f durch die Feldmagnete, so daß außer dem Gleichstromfeld noch ein Wechselstromfeld entsteht, so erhält man im Anker eine Spannungskomponente von der Frequenz 2 f. Dieses Verfahren läßt sich wiederholen und man gelangt am Ausgang der Maschine zu einer Spannung, deren Frequenz ein Vielfaches derjenigen ist, die der Pol- und Drehzahl entspricht. Dieser Gedanke ist, wenn auch in etwas anderer Weise, in der Maschine von *R. Goldschmidt* (1911) verwirklicht worden, die ebenfalls längere Zeit im praktischen Betriebe war.

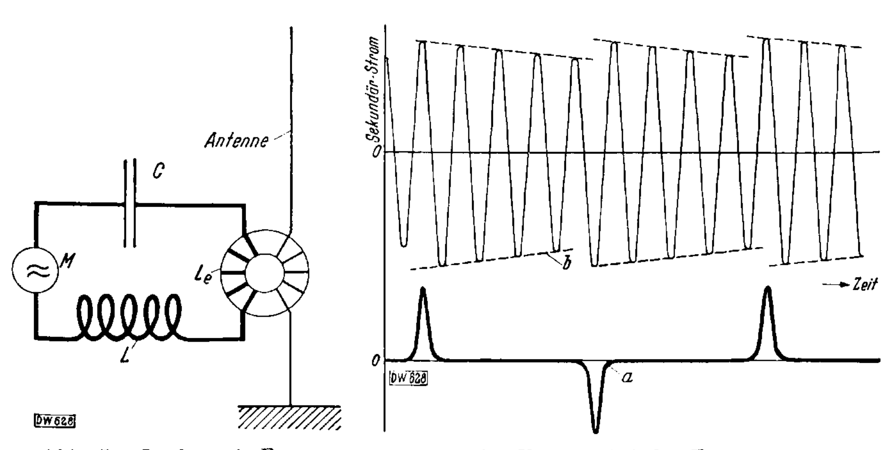


Abb. 5. Sender mit Frequenzvervielfachung

Abb. 6. Vorgang bei der Frequenzvervielfachung

2. Lichtbogen-Sender

Niemand, der die Verhältnisse kennt, wird sein Erstaunen darüber unterdrücken können, warum man nicht statt der schwierigen Entwicklung der Hochfrequenz-Maschinen den viel einfacheren Weg zur Herstellung ungedämpfter Schwingungen eingeschlagen hat, der zur Zeit der Anfänge der drahtlosen Telegraphie bekannt war (*El. Thomson, W. Duddell*), nämlich den, ungedämpfte Schwingungen dadurch zu erzeugen, daß man in einem Kondensatorkreis die Funkenstrecke durch einen Lichtbogen ersetzte. Tatsächlich ist von den verschiedensten Seiten versucht worden, diese Erscheinung für Hochfrequenz zu verwenden. Überraschenderweise fand man aber, daß der „Lichtbogengenerator" nicht mehr arbeitete, sobald man ihm hohe Frequenzen zumutete und womöglich noch hohe Leistung von ihm verlangte. Alle die zahlreichen Bemühungen waren erfolglos,

bis *V. Poulsen* (1902) die Mittel angab, um den Lichtbogen in den Dienst der Hochfrequenz zu zwingen. Sie bestanden darin, daß man 1. den Lichtbogen in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre brennen ließ — das ist notwendig zur Erzeugung hoher Frequenz —, 2. auf ihn ein Magnetfeld wirken ließ — das ist nötig für hohe Leistung —, und 3. die negative Elektrode aus Kohle und die positive aus gut gekühltem Kupfer herstellte. Der Lichtbogen- oder Poulsengenerator, der mit einem Wirkungsgrad von ungefähr 50 % unmittelbar Gleichstrom in Hochfrequenzenergie verwandelt, ist eine der schönsten und einfachsten Anordnungen, die die Geschichte der Hochfrequenztechnik gebracht hat. Er ist in Amerika von der Federal Telegraph Co. bis zu Einheiten von 1000 kW gebaut worden und beherrschte über ein Jahrzehnt lang in Amerika vollkommen das Feld. Leider konnte dieser Sender den allmählich sich steigernden Anforderungen des Empfangs nicht mehr entsprechen, da er es mit der Konstanz von Frequenz und Amplitude und der Reinheit von Oberschwingungen nicht allzu genau nimmt.

3. Röhren-Sender

In dieser Beziehung unvergleichlich besser ist der Röhrensender, der heute fast alle anderen verdrängt hat. Die erste Form desselben beruhte auf der Erfindung von *A. Meissner*, der Rückkoppelung. Abb. 7 ist eine Prinzipschaltung. In dem Kondensatorkreis $CL_1 L_2$ mag durch irgendeinen Anstoß, z. B. das Schließen des Anodenkreises ABL'_2K eine plötzliche Spannung erzeugt werden. Dann werden in ihm Schwingungen seiner eigenen Frequenz von sehr kleiner Amplitude angeregt. Diese Schwingungen induzieren durch die Kopplungsspulen $L_1 L'_1$ auf das Gitter der Röhre und erregen in ihrem Anodenkreis konstante Schwingungen derselben Frequenz (vgl. S. 15). Diese induzieren dann wieder durch die Rückkopplungsspulen $L'_2 L_2$ auf den Kondensatorkreis und verstärken die in ihm vorhandenen schwachen Eigenschwingungen. Sie schaukeln sich so auf bis zu einer Grenze, die durch die Kennlinie der Röhre bestimmt ist.

Mit einem rückgekoppelten Röhrensender kommt man ganz ungefähr hinauf bis zu einer Frequenz von 300 000 000 Schwingungen/s, entsprechend einer Wellenlänge von ungefähr 1 m. Will man noch kürzere Wellenlängen herstellen, so läßt sich das ebenfalls durch einen Röhrensender, aber in etwas anderer Schaltung erreichen. Es ist die Schaltung von *H. Barkhausen* und *K. Kurz* (1920), die Abb. 8 a in einfachster Form darstellt. Das Wesentliche daran ist, daß die Anode gegenüber der Kathode auf niedrigerer Spannung ist als das Gitter. Wenn dann die Elektronen durch das Gitter hindurchfliegen, so wirkt das Feld zwischen Gitter und Anode ihrer Bewegung entgegen. Sie werden zurückgeworfen und pendeln dann hin und her. Dieser „Elektronen-

tanz" erfolgt in durchaus regelmäßiger Weise und mit sehr hoher Frequenz. Eine Anordnung mit angeschlossenem Lechersystem (*E. W. B. Gill* und *J. H. Morell* 1922) stellt Abb. 8 b dar; bei ihr ist die Frequenz durch das Lechersystem wesentlich bestimmt.

Mit noch einer anderen Anordnung lassen sich Schwingungen mit Wellenlängen bis herunter zu wenigen Zentimetern erzeugen. Die Anordnung unterscheidet sich von der eben besprochenen schon durch

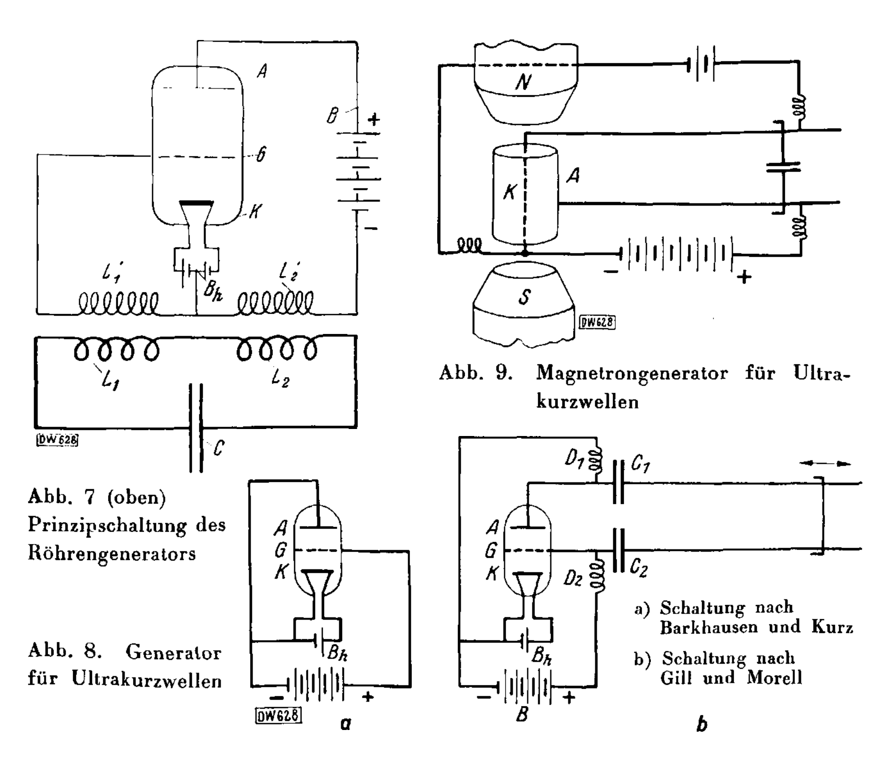


Abb. 7 (oben) Prinzipschaltung des Röhrengenerators

Abb. 8. Generator für Ultrakurzwellen

a) Schaltung nach Barkhausen und Kurz

b) Schaltung nach Gill und Morell

Abb. 9. Magnetrongenerator für Ultrakurzwellen

die Art der Röhre (*A. Hull* 1921), die als M a g n e t r o n bezeichnet wird. Sie besitzt, Abb. 9, nur zwei Elektroden; ihre Kathode K besteht meist aus einem einfachen geraden Glühdraht und die Anode A aus einem damit coaxialen Zylinder. Bei der weitaus wirksamsten Form ist er durch Schnitte längs der Achse geteilt (Schlitzanoden-Magnetron, *E. Habann* 1925). Beim Betrieb als Hochfrequenzgenerator befindet sich die Röhre in einem magnetischen Felde, dessen Richtung (NS Abb. 9) jedenfalls annähernd diejenige der Achse des Magnetrons ist. Unter dem Einfluß dieses Magnetfeldes bewegen sich die Elektronen, die aus der Glühkathode herauskommen, nicht geradlinig, sondern beschreiben

gekrümmte Bahnen, die je nach der Stärke des Magnetfeldes und der Anodenspannung auf der Anode münden oder zur Kathode zurückgehen. Wählt man diese beiden Größen richtig und schließt man z. B. ein Lechersystem nach Abb. 9 an, so erhält man in ihm Schwingungen von sehr kurzer Wellenlänge und verhältnismäßig großer Energie.

Die Anordnung von *Barkhausen* und *Kurz* und diejenige mit dem Schlitzanoden-Magnetron sind wohl die gegenwärtig meist verwendeten „Ultrakurzwellen-Sender". Die Aufgabe, ungedämpfte Schwingungen höchster Frequenz herzustellen, ist also auf zwei erheblich verschiedenen Wegen gelöst worden.

4. Steuerung durch piezoelektrische Kristalle

Trotzdem sich mit den Röhrensendern bezüglich der Konstanz kaum einer der früheren Sender messen kann, entstand doch das Bedürfnis nach weiterer Vervollkommnung in dieser Richtung. Es wurde in unerwarteter Weise verwirklicht, indem man eine

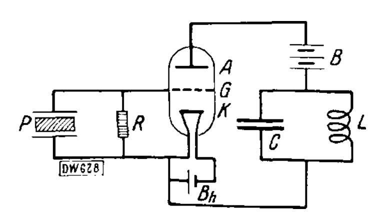


Abb. 10. Steuerung eines Röhrengenerators durch eine piezoelektrische Kristallplatte

Erscheinung hervorholte, die bisher mehr oder weniger zu den Kuriositäten des Physiklehrbuches gehört hatte, die Piezoelektrizität (*W. G. Cady*). Wenn man in der Schaltung von Abb. 10 einen piezoelektrischen Kristall (Quarz, Seignettesalz, Turmalin) verwendet, so kommt der Kristall in mechanische Eigenschwingungen und es entstehen Schwingungen derselben Frequenz im abgestimmten Anodenkreis. Hält man die Temperatur des Kristalles so konstant als möglich, so erreicht die Konstanz der Frequenz einen Grad, wie ihn kein anderes Schwingsystem besitzt. Nur durch diese ungewöhnliche Konstanz ist es möglich geworden, den Rundfunkstationen die außerordentlich engen Frequenzgrenzen vorzuschreiben, die heute international vereinbart sind und ein ungestörtes Nebeneinanderarbeiten einer großen Zahl solcher Stationen gestatten. Man bekommt einen Begriff von der Konstanz dieser Schwingungen, wenn man hört, daß man daran ist, mit Hilfe solcher piezoelektrischen Quarze die Konstanz der Erdumdrehung, die unserer Zeitmessung zugrunde liegt, zu kontrollieren. Bedenkt man außerdem, daß solche Quarze mechanische Schwingungen von vielen Millionen in der Sekunde mit äußerst geringem Energieverlust ausführen, so ist man geneigt, auf dem Gebiet der Hochfrequenz nichts mehr für unmöglich zu halten.

B. Empfänger

I. Detektoren

1. Ein Hochfrequenzfeld, das von irgend einem Sender herrührt, wird praktisch so nachgewiesen, daß man in das Feld einen Leiter, z. B. eine Empfangsantenne, hineinstellt und die Hochfrequenzströme, die in ihm durch das Hochfrequenzfeld entstehen, in irgend welcher Weise zur Wirkung bringt. Die Anordnung, die *H. Hertz* bei seinen Versuchen verwendet hat, ein Drahtkreis, der an einer Stelle durch eine ganz kurze Funkenstrecke unterbrochen war, reichte längst nicht aus, um die Wirkung eines Hochfrequenzsenders auf eine Entfernung zu zeigen, die für eine Nachrichtenübermittlung selbst bescheidenster Art in Betracht kam. Eine solche ist erst möglich geworden, als man im Kohärer von *E. Branly* (1890) einen Detektor gefunden hatte, dessen Empfindlichkeit von ganz anderer Größenordnung war als der Hertzsche Empfänger. Er bestand aus einer Röhre, die mit irgendwelchen kleinen Metallteilchen gefüllt war und in die zu beiden Seiten Drähte hineinführten. Ein kleiner Haufen von Metallteilchen hat im allgemeinen die Eigenschaft, infolge der geringen Berührungsflächen zwischen den einzelnen Teilchen, zum Teil auch infolge von Oxydation derselben, einen sehr hohen Widerstand zu besitzen. Läßt man aber auf denselben eine entsprechend hohe Spannung, z. B. Hochfrequenz-Spannung, wirken, so backen (fritten) sie an den Berührungsstellen zusammen — daher der deutsche Name „Fritter" — und der Widerstand wird sehr stark herabgesetzt. Klopft man gegen das Rohr mit den Metallteilchen, so werden die gebildeten Brücken zwischen den einzelnen Teilchen zerbrochen und der hohe Widerstand stellt sich wieder her. Der Kohärer wurde meist in Reihe geschaltet mit einem Morse-Apparat (Farbschreiber) und einem „Klopfer" nach Art einer elektrischen Klingel; der Klöppel desselben schlug gegen den Kohärer und stellte dessen hohen Widerstand zur Aufnahme des nächsten Zeichens wieder her.

Als der Kohärer durch andere viel bessere Detektoren abgelöst wurde, hat er wegen seiner Launenhaftigkeit keinen guten Ruf hinterlassen. Man hatte schon vergessen, daß die Versuche von *Marconi* vollkommen aussichtslos gewesen wären, wenn man ihn damals nicht gehabt hätte.

2. Der Nachteil des Kohärers war nicht nur seine Unzuverlässigkeit, sondern auch die Notwendigkeit der Verwendung eines Klopfers. Es wurde nun von allen Seiten daran gearbeitet, den Kohärer durch einen zuverlässigeren Detektor zu ersetzen, der selbsttätig nach der Aufnahme eines Zeichens für das nächste aufnahmebereit sein sollte.

Bei den meisten Versuchen handelte es sich um mehr oder weniger punktförmige Kontakte von Metallen gegen Quecksilber, gegen Gra-

phit oder Kohle, gegen Elektrolyte, gegen Kristalle, die meist zur Gattung der Halbleiter gehörten. Das praktische Ergebnis dieser Detektor-Suche war einmal die telephonische Aufnahme der Telegramme, die den Schreibempfang weitgehend verdrängte: Die Widerstandsänderungen dieser Kontakte bei der Einwirkung elektromagnetischer Wellen waren viel zu unregelmäßig, als daß sie die Betätigung eines Schreibgeräts gestattet hätten. Sie gaben aber einen Knack oder bei Tonsendern einen Ton im Telephon und zwangen so zur telephonischen Aufnahme, die so viele Vorteile zeigte, daß man sie als normales Aufnahmeverfahren für immer beibehielt.

Das weitere Ergebnis war der „Kristall-Detektor", der einen ganz außerordentlichen Fortschritt auf dem Gebiet der Detektoren bedeutete und sich für einfache Empfänger bis in die neueste Zeit gehalten hat. Er beruht auf der unsymmetrischen Strom-Spannungs-Kennlinie der Kombination Metallspitze gegen geeigneten Kristall. Wenn man an eine solche Kombination eine Wechselspannung anlegt, so erhält man einen Strom, der in der einen Richtung stärker ist als in der anderen und den man deshalb in einen gewöhnlichen Wechselstrom und einen Gleichstrom zerlegen kann. Wegen dieser Gleichstromkomponente spricht man häufig von einem „Gleichrichter". Den Nachweis, daß die Kennlinie mancher Kristalle, z. B. Psilomelan, unsymmetrisch ist, daß sie, wie man damals sagte, ein unipolares Leitvermögen haben, hatte *F. Braun* schon 1891 erbracht; er hatte später auch nachdrücklich auf die Verwendungsmöglichkeit von Kristallen als Detektoren hingewiesen. Brauchbare Kristalldetektoren aller Art sind dann von den verschiedensten Seiten angegeben worden.

Auch dem Kristalldetektor haftet eine gewisse Unsolidität an. Frei davon waren die Anordnungen, die man schon früher zu Messungen von Hochfrequenzströmen verwendet hatte: das Bolometer, Thermogalvanometer und Thermoelement. Man hat sie auch im Empfänger versucht: an Konstanz ließen sie nichts, an Empfindlichkeit alles zu wünschen übrig.

3. Ein Intermezzo in der Entwicklung der Detektorfrage war der magnetische Detektor von *Marconi*. Er beruht auf einer Erscheinung, die der jetzige Lord *Rutherford* entdeckt hatte. Wenn man hartgezogenen Eisendraht magnetisiert und dann darauf das magnetische Feld einer Hochfrequenzschwingung wirken läßt, so tritt eine plötzliche Änderung der Magnetisierung ein. *Marconi* hat diese Erscheinung in sehr hübscher Weise als Detektor ausgebaut. Ein endloses Band aus hartgezogenen Eisendrähten wurde ähnlich wie beim Telegraphon von *Poulsen* durch einen Motor über zwei Schnurscheiben vorbei an den Polen von Hufeisenmagneten bewegt und dadurch magnetisiert. Es geht durch zwei übereinanderliegende Spulen; durch

eine wird die Hochfrequenz-Schwingung geschickt, die zweite wird ans Telephon angeschlossen. Wenn durch die Hochfrequenz-Schwingung der magnetische Zustand des Eisenbandes geändert wird, wird in der zweiten Spule eine EMK induziert und man hört ein Knacken oder bei einem Tonsender einen Ton im Telephon. Der magnetische Detektor ist später nicht weiterentwickelt worden.

4. Die weitere Entwicklung der Detektoren ist tatsächlich ganz andere Wege gegangen. Schon 1904 hatte *A. Wehnelt* gefunden, daß eine evacuierte Röhre mit zwei Elektroden, von denen die eine kalt, die andere geheizt ist, eine vollkommen unsymmetrische Strom-Spannungs-Kennlinie besitzt und als Ventil wirkt. *J. A. Fleming* hat dies wohl zuerst (1905) für Empfangszwecke ausgenützt. Sein Detektor, die „Fleming valve", wurde lange Zeit von der Marconigesellschaft auf ihren Stationen benützt. Legt man einen solchen Detektor

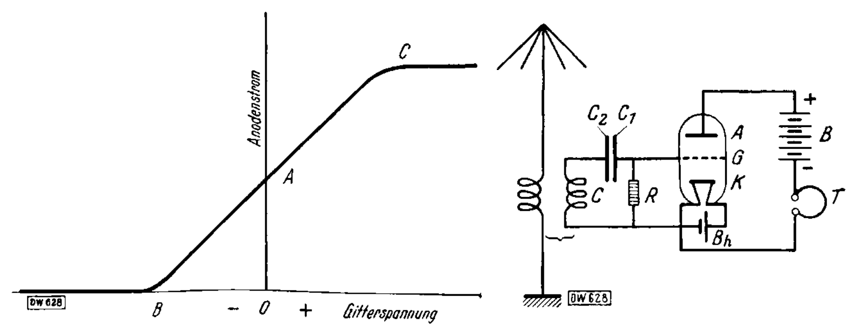


Abb. 11. Kennlinie einer Dreipolröhre

Abb. 12. Audionschaltung

in einen Empfangs-Kreis, so wird der Hochfrequenzstrom nur in einer Richtung durchgelassen, man bekommt also einen gleichgerichteten Strom, der in einem in den Stromkreis gelegten Galvanometer einen Ausschlag oder in einem eingeschalteten Telephon ein Knacken, bei Verwendung eines Tonsenders einen Ton, hervorruft. In letzterer Zeit ist man wieder für besondere Zwecke auf die „Diode" oder „Zweipolröhre", wie man sie heute nennt, zurückgekommen.

Schon 1906 ist dann ein anderer Detektor der Glühkathoden-Klasse auf dem Plan erschienen, die Elektronenröhre (Triode oder Dreipolröhre), damals „Audion" genannt, von *L. de Forest*. Sie unterscheidet sich von der „Fleming valve" durch den Besitz einer dritten Elektrode zwischen Glühkathode und Anode, des Gitters, G Abb. 7. Legt man bei konstanter Anodenspannung, d. h. Spannung zwischen Anode A und Glühkathode K, eine veränderliche Spannung zwischen Gitter und Kathode, so ändert sich der Anodenstrom in der

Weise, wie es die Kennlinie, Abb. 11, zeigt: Man kann also den Anodenstrom durch die Gitterspannung steuern. Wesentlich ist dabei folgendes. Selbstverständlich läßt sich eine Änderung des Anodenstroms auch durch eine Änderung der Anodenspannung erreichen, aber die Änderung der Anodenspannung, die nötig ist, um eine bestimmte Änderung des Anodenstromes hervorzurufen, ist viel größer als die Änderung der Gitterspannung, der dieselbe Änderung des Anodenstromes entspricht. Es genügen also sehr geringe Änderungen der Gitterspannung, um eine verhältnismäßig große Änderung des Anodenstroms zu erzeugen.

Man kann diese Anordnung in zweierlei Weise als Detektor benutzen. Legt man an das Gitter eine Vorspannung, z. B. von der Größe „OB" in Abb. 11, so ist der Anodenstrom praktisch null. Wirkt jetzt eine Hochfrequenzspannung auf das Gitter ein, so ändert sich in den Halbperioden, in der sie negative Werte besitzt, nichts am Anodenstrom. In den Halbperioden aber, in denen die Hochfrequenzspannung positive Werte hat, führt sie zu einer Verstärkung des Anodenstromes, die sich in einem in dem Anodenkreis eingeschalteten Strommesser oder Telephon bemerkbar macht. Man bezeichnet diese Art der Gleichrichtung als „Anodengleichrichtung".

Eine andere Methode, um bei Anlegen einer Hochfrequenzspannung ans Gitter eine Änderung des Anodenstromes zu erzielen, ist die „Gittergleichrichtung" oder „Audionschaltung", Abb. 12. Legt man hier eine Hochfrequenzspannung an das Gitter, so fließt in den Halbperioden, in denen diese Spannung positiv ist, Strom vom Gitter zur Kathode. Infolgedessen lädt sich die Belegung C_1 des Kondensators C allmählich negativ auf, das Gitter bekommt eine immer größere negative Spannung und der Anodenstrom wird kleiner. Nach dem Aufhören der Schwingungen fließt die negative Ladung durch den Gitterwiderstand R ab und die Anordnung ist zur Aufnahme einer neuen Schwingungsgruppe bereit.

Bekanntlich hat die Elektronenröhre in der Form der Dreipolröhre oder deren Weiterentwicklung, den „Mehrpolröhren", alle anderen Detektoren aus dem Felde geschlagen. Der Grund dafür ist ihre unbedingte Zuverlässigkeit und ihre Empfindlichkeit. Das letztere ist nicht mehr oder wenig zufällig, wie etwa irgend eine Kristallkombination als Detektor empfindlicher war als eine andere. Sie hat einen tieferen Grund. Wenn man zum Nachweis der Hochfrequenz-Schwingungen einen Kristalldetektor verwendet, so ist die Wirkung in einem angeschalteten Telephon eine unmittelbare Umsetzung der empfangenen Hochfrequenz-Energie. Im Gegensatz dazu ist z. B. bei der Gittergleichrichtung von Abb. 12 die Hochfrequenz-Leistung, die dem Gitter zugeführt wird, ganz außerordentlich gering, viel geringer als die Änderung der Gleichstromleistung, die im Anodenkreis auf-

tritt. Diese rührt nicht von der zugeführten Hochfrequenzleistung her, sondern von der Anodenbatterie; die Hochfrequenzspannung am Gitter dient nur dazu, um die Gleichstromleistung zu steuern. Bei der Dreipolröhre handelt es sich also nicht wie beim Kristalldetektor um eine Umformung der Hochfrequenz- in Niederfrequenz- oder Gleichstromleistung, sondern um die Steuerung einer im Empfänger vorhandenen Leistungsquelle durch die Hochfrequenz der ankommenden Wellen.

II. Verstärker

Die Steuerung (Relais-Wirkung) der Dreipolröhre liefert auch die Möglichkeit, sowohl Niederfrequenz- als Hochfrequenz-Spannungen oder -Leistungen zu verstärken. Denken wir uns an das Gitter eine Wechselspannung gelegt, so wird nach Abb. 11 in den positiven Halbperioden dieser Spannung der Anodenstrom verstärkt, in den negativen geschwächt. Man erhält also im Anodenkreis eine periodische Änderung des Stromes, oder, was auf dasselbe hinauskommt: es überlagert sich dem Gleichstrom im Anodenkreis ein Wechselstrom von der Frequenz der zugeführten Gitterspannung. Die Leistung dieses Wechselstromes kann vielmals größer sein als die dem Gitter zugeführte.

Der Gedanke eines rein elektrischen Verstärkers — von den mechanischen soll abgesehen werden — ist wohl zuerst in der v. Lieben-Reiß-Röhre (1906) verwirklicht worden. Es war eine Röhre mit einer Glühkathode (Oxydkathode), einer kalten Anode und einem siebartigen Gitter, das die Röhre in zwei Teile teilte. In ihrem Aufbau war sie fast ganz gleich der Elektronenröhre, in ihrem Aussehen und ihren Ausmaßen, auch darin, daß sie nur mäßig evacuiert war und also mit Ionenströmen arbeitete, wich sie stark davon ab. Zu Anfang des Weltkrieges wurden diese Röhren in der Station Sayville (Long Island), der Gegenstation von Nauen, als Verstärker verwendet. Man ist aber von der Lieben-Reiß-Röhre als Verstärker abgekommen: man sah, daß die Elektronenröhre, die man bis dahin nur als Detektor benutzt hatte und die inzwischen erheblich verbessert worden war, sich noch besser als Verstärker eignete.

Geschichtlich merkwürdig ist, daß man zuerst nur daran dachte, den vom Detektor gelieferten Niederfrequenzstrom zu verstärken. Die Verstärkung der von der Antenne aufgenommenen Hochfrequenzströme, Hochfrequenzverstärkung von *O. v. Bronck* (1911), kam erheblich später.

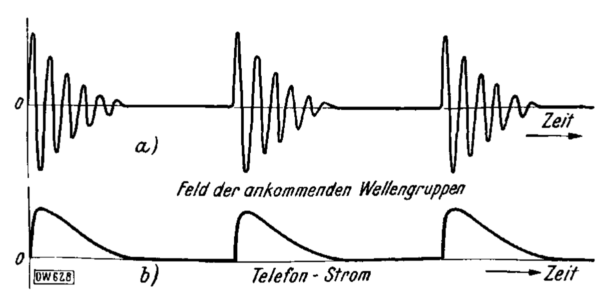
Man kann die Bedeutung des Verstärkers nicht hoch genug einschätzen. Das gilt schon im Gebiet der Funkentelegraphie und -telephonie. Die immer größer werdenden Reichweiten der Stationen

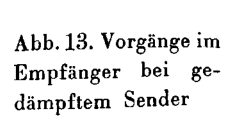
hatten vielfach ihren Grund nicht in einer Verbesserung des Senders, sondern in der Einführung des Verstärkers im Empfänger. Aber auch außerhalb der Funkentelegraphie und -telephonie hat der Verstärker geradezu eine Umwälzung hervorgerufen. Der Tonfilm wurde ermöglicht, das gesamte Nachrichtenwesen hat einen neuen Aufschwung erhalten und die ganze physikalische Technik hat sich vollkommen geändert: Heute kann man irgend eine beliebige Erscheinung, wenn sie nur reproduzierbar und nicht durch Nebenerscheinungen überdeckt ist, sichtbar oder hörbar oder sonstwie durch verhältnismäßig unempfindliche Hilfsmittel nachweisbar machen. Auch der oben besprochene Röhrengenerator ist nichts anderes als eine besondere Anwendung der Verstärkerwirkung der Elektronenröhre.

III. Empfangsschaltungen

1. Schaltung für den Funkensender

Zum Empfang eines Löschfunkensenders mit tönenden Funken kann die Empfangsschaltung sehr einfach sein. Die ankommenden Wellengruppen, Abb. 13a, liefern im Empfänger mit Detektor einen




Abb. 13. Vorgänge im Empfänger bei gedämpftem Sender

Strom von der Form Abb. 13 b, d. h. einen Wellenstrom, dessen Frequenz gleich der Gruppenfrequenz der einfallenden Wellen und damit des Senders ist. Man hört im Telephon einen Ton dieser Frequenz. In dieser leichten Aufnehmbarkeit der Zeichen liegt ein großer Vorteil des Löschfunkensenders mit tönenden Funken.

2. Schaltung für ungedämpfte Wellen

Vor einer neuen Aufgabe stand man aber, als Sender mit ungedämpften Schwingungen eingeführt wurden. Schaltet man im Empfänger einfach einen Detektor ein, so bekommt man am Anfang und am Ende eines Morsezeichens ein Knacken im Telephon,

dagegen nicht, wie beim Funkensender, einen Ton. Es muß also irgend eine besondere Maßnahme ergriffen werden, um z. B. eine längere Wellengruppe (Strich im Morsealphabet) während ihrer ganzen Dauer hörbar und damit von einer kurzen Wellengruppe (Punkt des Morsealphabets) unterscheidbar zu machen.

Eine Lösung der Aufgabe war die, in den Empfänger oder Sender irgend einen Unterbrecher einzuschalten, der die Wellen zerhackte und damit im Telephon einen Ton von der Unterbrecherfrequenz hervorrief. Alle derartigen Anordnungen haben sehr rasch einem besonders fruchtbaren Gedanken weichen müssen, dem „Heterodyne-Prinzip" von *R. A. Fessenden.* Am Empfangsort werden durch einen lokalen Hilfsgenerator ungedämpfte Schwingungen von einer Frequenz hergestellt, die sich von der Frequenz der zu empfangenden Wellen nur wenig, z. B. um 500/s, unterscheidet. Man bringt dann die lokal erzeugten Schwingungen mit den empfangenen so zusammen, daß ein Ton von dieser Differenzfrequenz entsteht. In seiner ursprünglichen Anordnung hat *Fessenden* dies in folgender Weise erreicht: Er konstruierte ein Telephon, auf dessen Membran eine feine Flachspule angebracht war. Dieser Spule gegenüber und mit ihr coaxial stand eine zweite feste Flachspule. Durch die erstere wurden die lokal erzeugten Hilfsschwingungen, durch die letztere die empfangenen Schwingungen — oder auch umgekehrt — hindurchgeschickt. Die Schwingungen in den beiden Flachspulen üben dann eine Kraft aufeinander aus, die eine Komponente von der Differenzfrequenz besitzt und eine Schwingung der Membran von dieser Frequenz zur Folge hat. Man hört einen Ton von dieser Frequenz im Telephon, und dieser Ton läßt sich durch Änderung der Frequenz des Hilfsgenerators bequem auf jede beliebige Höhe einstellen. Bald nachher wurde (*J. W. Lee* und *J. L. Hogan*) die Heterodyne-Methode in diejenige Form gebracht, in der sie noch heute gebraucht wird. Die empfangenen und die Hilfs-Schwingungen werden in einem Stromkreis vereinigt. Der resultierende Strom hat dann den Charakter eines Hochfrequenzstroms mit Schwebungen, d. h. mit einer periodischen Zu- und Abnahme der Amplitude. Wird dieser Strom einem Gleichrichter (Detektor) zugeführt, so entsteht ein Wellenstrom von der Differenz-, d. h. von der Schwebungs-Frequenz.

Eine Weiterbildung des Heterodyne-Verfahrens ist der „Zwischenfrequenzempfänger (Superheterodyne)" von *E. H. Armstrong.* Den empfangenen Schwingungen werden genau wie beim Heterodyneempfänger die Schwingungen eines lokalen Hilfsgenerators überlagert und der resultierende Strom durch einen Gleichrichter gleichgerichtet. Die Frequenz des Hilfsgenerators wird aber nicht so gewählt, daß die entstehende Schwebungsfrequenz im Gebiet der hörbaren Töne, sondern so, daß sie darüber liegt, z. B. 50 000/s beträgt:

Zwischenfrequenz. Diesem Zwischenfrequenzstrom wird nun durch einen zweiten Hilfsgenerator ein Strom überlagert von einer Frequenz, daß die entstehenden Schwebungen hörbare Frequenzen besitzen. In allen Stufen des Empfängers können natürlich Verstärker verwendet werden. In der Zwischenfrequenzstufe werden in der Regel ein oder mehrere abgestimmte Kreise benutzt, die auf die Zwischenfrequenz abgestimmt sind. Wenn man nun die verschiedensten Sender empfangen will, so stellt man die Frequenz des ersten Hilfsgenerators immer so ein, daß die Zwischenfrequenz dieselbe wird, nämlich diejenige, auf die die Zwischenfrequenzstufen abgestimmt sind. Es kann dann also für die verschiedensten Sender die Zwischenfrequenz- und Niederfrequenz-Stufe dieselbe bleiben. Das ist neben der großen Trennschärfe der Hauptvorteil des Superheterodyne-Empfängers, der heute noch allgemein im Gebrauch ist.

Eine sehr hübsche Schaltung, ebenfalls von *E. H. Armstrong,* die aber längst nicht die allgemeine Verwendung gefunden hat wie der Superheterodyne-Empfänger, ist der „Superregenerativ-“ oder „Pendelrückkoppelungs-Empfänger“. Benutzt man in einer Empfangsschaltung die beim Röhrengenerator (S. 8) näher beschriebene Rückkoppelung, so hat dies zur Folge, daß der auf die ankommenden Wellen abgestimmte Empfangskreis entdämpft wird, d. h. daß die Anordnung wirkt, wie wenn der Empfangskreis eine geringere Dämpfung hätte, als sich aus seinem Widerstand ergibt (*O. v. Bronck, E. H. Armstrong* 1913). Die Folge davon ist außer der größeren Resonanzschärfe eine erhöhte Amplitude in diesem Resonanzkreis. Die Entdämpfung und damit diese Amplitude werden um so höher, je stärker die Rückkoppelung ist. Sie kann aber nicht beliebig erhöht werden, da von einer gewissen kritischen Rückkoppelung an der Kreis in Eigenschwingungen gerät, d. h. zum Röhrengenerator wird. Um diese Entstehung von Eigenschwingungen kommt nun die Pendelrückkoppelung in folgender Weise herum. Der kritische Wert der Rückkoppelung hängt ab von dem Arbeitspunkt, Abb. 11, auf der Kennlinie. Man kann z. B. die Rückkoppelung auf einen Wert einstellen, daß Eigenschwingungen dann zustande kommen, wenn der Arbeitspunkt in der Nähe des Punktes A, Abb. 11, nicht aber, wenn er in der Nähe der Punkte B oder C liegt. Verwendet man nun als Gittervorspannung eine Wechselspannung und läßt dadurch den Arbeitspunkt zwischen den Punkten B und C „pendeln“, so würden wohl Eigenschwingungen entstehen, wenn der Arbeitspunkt über die Nähe von A hinweggeht. Aber ehe sie merkliche Amplituden erreichen, ist der Arbeitspunkt schon auf Teilen der Kennlinie, auf denen die Bedingungen für das Bestehen von Eigenschwingungen nicht erfüllt sind. Der Vorteil dieser Pendelrückkoppelung ist der, daß man selbst mit e i n e r Röhre außerordentlich hohe Amplituden im Empfänger erhält.

C. Telephonie und Rundfunk

I. Drahtlose Telephonie

Der Gedanke, die elektromagnetischen Wellen nicht nur zur Übertragung von Zeichen (Telegraphie), sondern auch zur Übertragung der Sprache (Telephonie), zu verwenden, liegt nahe und ist auch schon in den Anfängen der drahtlosen Telegraphie aufgetaucht. Er hatte aber so lange keine Aussicht auf irgend einen praktischen Erfolg, als man mit Funkensendern arbeitete. Sobald es gelungen war, ungedämpfte Schwingungen mit einer für die Funkentelegraphie genügenden Frequenz herzustellen, gelangten die Versuche mit drahtloser Telephonie sofort zu mehr oder weniger brauchbaren Ergeb-

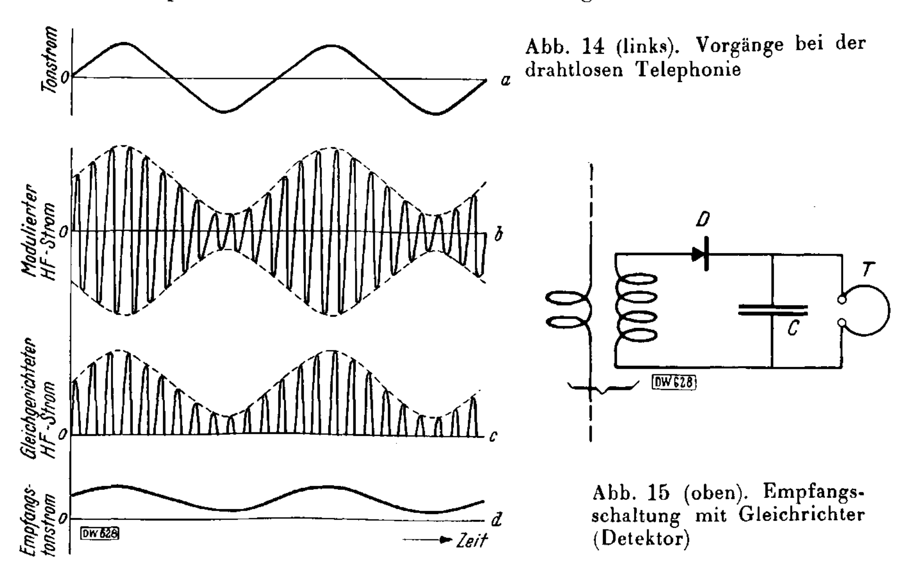


Abb. 14 (links). Vorgänge bei der drahtlosen Telephonie

Abb. 15 (oben). Empfangsschaltung mit Gleichrichter (Detektor)

nissen (z. B. *R. A. Fessenden* mit dem Maschinensender, *V. Poulsen* mit dem Lichtbogengenerator).

Das Verfahren bei der drahtlosen Telephonie ist bekanntlich in dem einfachsten Fall, wenn ein einziger Ton von hörbarer Frequenz übertragen werden soll, folgendes: Die zeitliche Änderung des Luftdruckes, die diesem Ton entspricht, stelle die Kurve a in Abb. 14 dar. Von derselben Form ist dann die zeitliche Änderung des Stromes, wenn man diesen Ton auf einen Mikrophonkreis wirken läßt. Mit diesem Mikrophonstrom „moduliert“ man nun irgend einen ungedämpften Sender, d. h. man erzeugt eine Änderung der Amplitude der Hochfrequenz-Schwingungen, die denselben zeitlichen Verlauf wie der Mikrophonstrom besitzt, Abb. 14b. Die Hoch-

frequenzwellen, die den Empfänger treffen, haben denselben zeitlichen Verlauf und dasselbe gilt ungefähr von der Hochfrequenz-Spannung, die auf die Empfangsanordnung wirkt. Ist diese im einfachsten Fall von der Form von Abb. 15 (D Detektor bzw. Gleichrichter, C Kondensator hoher Kapazität und T Telephon), so hat der gleichgerichtete Strom, der durch den Gleichrichter geht, die Form von Abb. 14c. Die Hochfrequenz-Komponente desselben geht im wesentlichen durch den Kondensator C, die Niederfrequenz-Komponente von der Form Abb. 14d durch das Telephon („Demodulation“). Man hört also im Telephon dasselbe, wie wenn man den Mikrophonstrom unmittelbar und nicht auf dem Umweg über die Modulation des Hochfrequenz-Stromes im Sender, die elektromagnetischen Wellen und die Demodulation im Empfänger, auf das Telephon wirken ließe. Was für den einfachen Ton von der Schwingungsform Abb. 14a ausgeführt wurde, gilt auch ohne weiteres für die verwickelten Schwingungsformen, mit denen man es bei Sprache und Musik zu tun hat.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß an den Empfänger bei der drahtlosen Telephonie gegenüber demjenigen bei der Funkentelegraphie keine wesentlich neuen Anforderungen gestellt werden. Das ist nicht so zu verstehen, als ob jeder beliebige Empfänger, der sich für Funkentelegraphie eignet, auch für eine drahtlose Sprachübertragung genügte. Es hat außerordentlich viel Kleinarbeit erfordert, Verzerrungen zu vermeiden, d. h. den Empfangsstrom, Abb. 14d, möglichst gleich dem Tonstrom, Abb. 14a, im Sender zu machen, so daß man im Empfängertelephon genau dasjenige hört, was man in das Sendemikrophon gesprochen hat.

Die neue Aufgabe, die der Telephonie- gegenüber dem Telegraphie-Sender gebracht hat, liegt in der Modulation der Hochfrequenz-Schwingungen, d. h. darin, durch die zeitliche Änderung der Amplitude der Hochfrequenz-Schwingungen im Sender den zeitlichen Verlauf des Tonstromes möglichst genau abzubilden. Tatsächlich bietet die Aufgabe, die Amplitude eines Hochfrequenz-Senders durch einen verstärkten oder nicht verstärkten Mikrophonstrom zu beeinflussen, keine grundsätzliche Schwierigkeit. Das zeigt sich schon in der außerordentlichen Vielfältigkeit der Lösungen, die mit mehr oder weniger Erfolg versucht wurden.

Der Röhrengenerator ist für die Telephonie bei weitem am geeignetsten, er kommt heute praktisch allein in Betracht. Wenn er, wie es bei Sendern größerer Leistung wohl immer der Fall ist, aus einem Generator geringer Leistung und darauf folgenden Verstärkerstufen besteht, so ist es möglich und wohl auch meist üblich, nicht die Endstufe großer Leistung, sondern irgend eine andere Stufe geringer Leistung zu modulieren.

II. Der Rundfunk

Meines Wissens ist der erste „Rundfunk“ von *L. de Forest* schon im Jahre 1916 eingerichtet worden. Er gab mit seiner Versuchsstation im Norden von New York abends kleine Programme, die von Amateuren in den umliegenden Stadtteilen abgehört werden konnten. Welche Bedeutung der Rundfunk heute in allen Ländern und im Verkehr zwischen den Ländern erreicht hat, brauche ich nicht auszuführen.

Rein technisch besitzt der Rundfunk, wenn im Empfänger nur ein Kopfhörer verwendet wird, gegenüber der gewöhnlichen drahtlosen Telephonie kaum irgend welche Unterschiede. Aber es entstand hier naturgemäß nach ganz kurzer Zeit das Bedürfnis, den Rundfunk im größeren Kreise zu genießen, ohne daß jeder Zuhörende es nötig hatte, einen Kopfhörer an den Ohren zu haben. Dieses Bedürfnis führte zum Lautsprecher. Vor der Zeit des Rundfunks sind Lautsprecher kaum dem Namen nach allgemein bekannt gewesen, obwohl man sie für spezielle Zwecke — Befehlsübermittlung u. ä. — schon lange Zeit vorher verwendet hatte. Als aber der Rundfunk dringend nach dem Lautsprecher verlangte, hat auf diesem Gebiet eine sehr lebhafte Entwicklungstätigkeit eingesetzt mit dem Zweck, möglichst verzerrungsfreie Lautsprecher mit möglichst großem Wirkungsgrad zu schaffen. Der Entwicklung kam zustatten, daß um dieselbe Zeit auch das Bedürfnis entstand, Reden oder Musik auf große Entfernung in einem großen geschlossenen Raum oder im Freien hörbar zu machen und daß man dafür ebenfalls kräftige und verzerrungsfreie Lautsprecher verlangte. Die Erfolge auf diesem Gebiete waren ausgezeichnet. Die Güte eines neuzeitlichen elektrodynamischen Lautsprechers im weitesten Sinne des Wortes ist von ganz anderer Größenordnung als diejenige der früheren Lautsprecher. Dasselbe gilt übrigens auch von den Tonabnehmern (Mikrophonen), die unter dem Druck des Rundfunks und der Übertragung von Rede und Musik hervorragend ausgebildet wurden.

D. Antennen

Solange es sich nur um grundsätzliche Fragen handelt, ist es nicht nötig, zwischen Sende- und Empfangsantennen zu unterscheiden, da die Eigenschaften einer Antennenart, z. B. ihre Richtwirkung, für Senden und Empfang denselben Charakter haben.

Zur Kennzeichnung der Wirkung einer Antenne in verschiedenen Horizontalrichtungen benutzt man die anschauliche Darstellung durch die Richtkennlinie. Von einem festen Punkt aus, den man sich als Fußpunkt der Antenne denkt, trägt man in den verschiedenen Richtungen Vektoren auf, deren Länge proportional ist

der Amplitude der Welle, die die Antenne bei irgend einer bestimmten Stromstärke in dieser Richtung aussendet. Man verbindet dann die Endpunkte dieser Vektoren durch eine Kurve. Es ist ein Kreis, wenn die Antenne „ungerichtet" ist, d. h. in allen Horizontalrichtungen gleich starke Wellen ausstrahlt.

I. Antennen ohne Richtwirkung

Die ersten Antennen, die man für Sender und Empfänger benutzte, waren vertikale Drähte, die, wie man erst allmählich merkte, eine Länge von ¼ Wellenlänge haben mußten, wenn sie besonders günstig wirken sollten. Solche Antennen strahlten schon aus Symmetriegründen gleichmäßig nach allen Horizontalrichtungen. Die Entwicklung, die diese Art von Antennen gefunden hat, bewegte sich in der Richtung immer größerer Höhen und immer größerer Kapazitäten am oberen Ende. Während man in den ersten Jahren zur Erhöhung der Endkapazität den oberen Teil der Antenne reusenartig verbreitert hatte, ging man allmählich dazu über, dem oberen Teil der Antenne die Form eines großen Drahtschirmes — oder Drahtdaches — zu geben. Zu welch mächtigen Gebilden man gelangte, zeigt z. B. der Hinweis auf die Langwellenstation von Nauen bei Berlin, deren Antennengebilde eine Fläche von 2,5 Millionen m^2 bedeckte und von 2 Türmen von 260 m und von 12 von 210 m Höhe getragen wurde. Eine solche ungerichtete Antenne ist dann am Platze, wenn, wie bei einem Rundfunksender, möglichst viele Empfänger an allen möglichen Stellen Telegramme oder sonstige Übertragungen hören sollen. Wenn aber der Sender nur mit e i n e r Station, seiner „Gegenstation", verkehren will, bedeutet eine ungerichtete Antenne, wie man sich schon sehr früh klar war, eine ganz unnötige Störung von Empfängern, die sich nicht für den Sender interessieren, und außerdem einen ganz schlechten Wirkungsgrad: es ist ja unsinnig, Wellen in alle Richtungen auszustrahlen, wenn man sie nur in e i n e r empfangen will. Man war sich auch schon sehr früh darüber klar — *F. Braun* hat schon im Jahre 1906 mit einer Rahmenantenne solche Versuche gemacht — daß, wenn man die Aufgabe der Antenne mit Richtwirkung für den Empfänger gelöst hat, dies auch die Lösung der Aufgabe bedeutet, die Richtung der ankommenden Wellen und damit die Lage des Senders zu bestimmen, d. h. der Aufgabe, die man heute als „Funkpeilung" bezeichnet.

II. Antennen mit Richtwirkung

1. Eine der ersten Methoden bedeutet die Antenne mit Horizontalteilen. Wenn eine Antenne nicht vertikal ist, sondern in unsymmetrischer Weise horizontale oder mindestens gegen die Vertikale

geneigte Teile enthält, so ist die horizontale Richtkennlinie immer unsymmetrisch, d. h. die Stärke der Wellen, die in der Horizontalebene ausgestrahlt werden, ist in den verschiedenen Richtungen verschieden. Zu dieser Gruppe gehören die schiefen Antennen von *F. Braun* und die Marconi-Antenne, Abb. 16 a, deren horizontale Teile viel länger waren als die vertikalen und die eine Richtkennlinie von der Form von

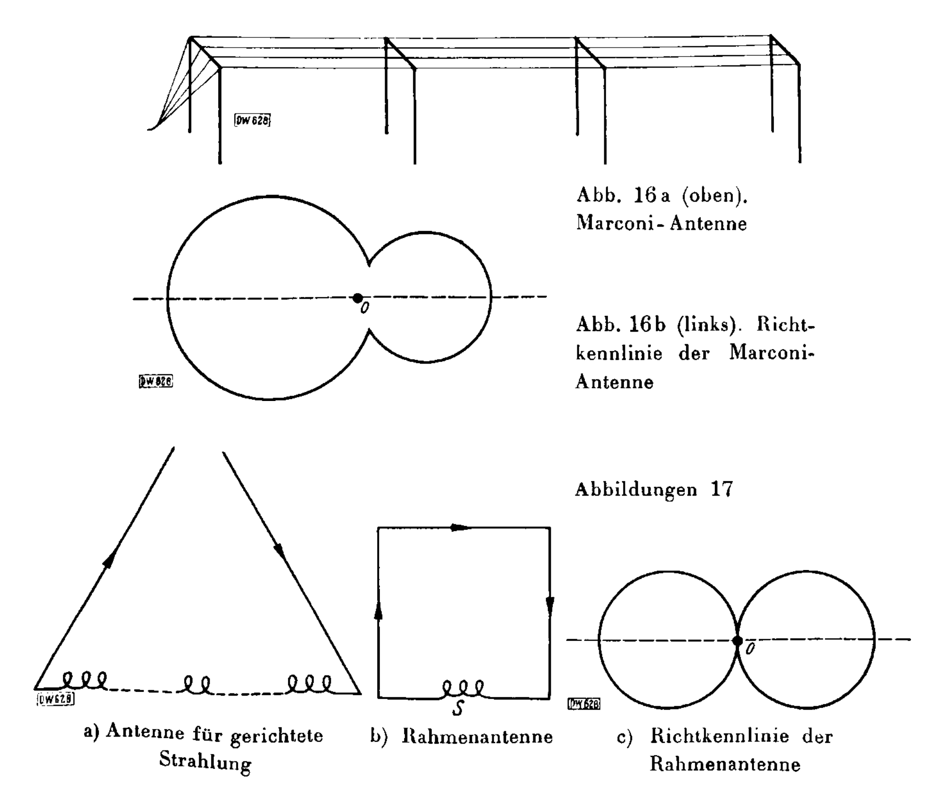


Abb. 16 a (oben). Marconi-Antenne

Abb. 16 b (links). Richtkennlinie der Marconi-Antenne

Abbildungen 17

a) Antenne für gerichtete Strahlung

b) Rahmenantenne

c) Richtkennlinie der Rahmenantenne

Abb. 16 b besaßen. Bis zum äußersten ist *Beverage* gegangen, bei dessen Antenne der horizontale Teil mehrere Wellenlängen lang war, was eine sehr scharfe Richtwirkung bedingte.

In diese Klasse von Antennen sind im gewissen Sinne einzureihen die Antennen, die aus einer ganzen oder nahezu geschlossenen ebenen Strombahn bestehen. Gemeint sind damit Antennen, die schematisch in Abb. 17a dargestellt sind, und insbesondere Rahmenantennen, Abb. 17b: Ein kreisförmiger oder rechteckiger Drahtrahmen mit einer

oder mehreren Windungen. Soll er als Sendeantenne verwendet werden, so werden durch ihn Hochfrequenz-Ströme hindurchgeschickt. Benutzt man ihn als Empfangsantenne, so wird meist an der unteren Seite ein Kondensator eingeschaltet, der den Kreis auf die Frequenz des Senders abstimmt. In beiden Fällen steht die Rahmenebene vertikal und in beiden Fällen ist seine Richtkennlinie eine Art Acht, Abb. 17c, wobei die gestrichelte Linie die Rahmenebene bedeutet. Als Sendeantenne strahlt also der Rahmen senkrecht zu seiner Ebene nicht aus, dagegen maximal in der Richtung seiner Ebene und als Empfangsantenne nimmt der Rahmen die Wellen nicht auf, wenn sie senkrecht zu seiner Ebene eintreffen, dagegen mit maximaler Stärke, wenn sie in seiner Ebene ankommen.

Die Unbestimmtheit der Richtung der ankommenden Wellen um 180° kann man dadurch ausschalten, daß man mit dem Rahmen in richtiger Weise eine vertikale Antenne ohne Richtwirkung verbindet. Ein solches Gebilde gibt dann als Sende- und Empfangsantenne eine Richtkennlinie von der Form von Abb. 18. Eine ähnliche hat *F. Braun* erhalten, als er 1906 mit drei Antennen Versuche machte, in denen sich die Amplituden der Schwingungen wie 1 : 0,5 : 0,5 verhielten, und die in den drei Ecken eines gleichseitigen Dreiecks standen, dessen Seitenlänge ¼ der Wellenlänge war.

2. Eine zweite Gruppe von Richtstrahlern beruht auf der Ausnutzung der Interferenz, die entsteht, wenn zwei oder mehrere Antennen Hochfrequenz-Ströme derselben Frequenz, aber unter Umständen verschiedener Phase und Amplitude führen. Einfache Beispiele dieser Art wurden von den verschiedensten Seiten *(S. G. Brown, A. Blondel, J. St. Stone)* zum Teil schon in den ersten Jahren (1899) vorgeschlagen. Ein sehr bekannter einfacher Fall ist derjenige von Abb. 19a: Zwei vertikale Antennen im Abstand einer halben Wellenlänge, die Ströme in beiden mit gleicher Phase und Amplitude. Die Richtkennlinie ist in diesem Falle diejenige von Abb. 19b, in der die gestrichelte Linie die Antennenebene bedeutet. Ein interessantes Beispiel ist auch dasjenige von Abb. 20a: Zwei Vertikalantennen mit Strömen gleicher Amplitude im Abstand einer Viertel-Wellenlänge, die Phasen der Ströme in beiden um 90° verschoben. Die Richtkennlinie ist diejenige von Abb. 20b, wenn die Phase in A derjenigen in B voreilt.

An diese und ähnliche Anordnungen schließt sich eine Entwicklung an, die in den letzten Jahren eine sehr große Bedeutung erreicht hat, die Entwicklung der Antennenreihen.

Wenn man die Anordnung von Abb. 19a vervielfältigt, also eine große Zahl von Antennen verwendet, alle mit derselben Länge, mit

Strömen derselben Amplitude und Phase und alle von der nächsten um ½ Wellenlänge entfernt, Abb. 21a, so bekommt man eine Richtkennlinie von der Art der Abb. 21b. Sie hat ähnlichen Charakter wie diejenige der einfachen Antennenpaare von Abb. 19b, aber, wie man heute sagt, die „Bündelung" ist viel schärfer, d. h. wenn man von der Hauptrichtung etwas abweicht, so nimmt die Amplitude in dem Falle der Antennenreihe viel stärker ab als im Falle des Antennenpaares. Es ist im Grunde genommen dieselbe Erscheinung wie bei einem

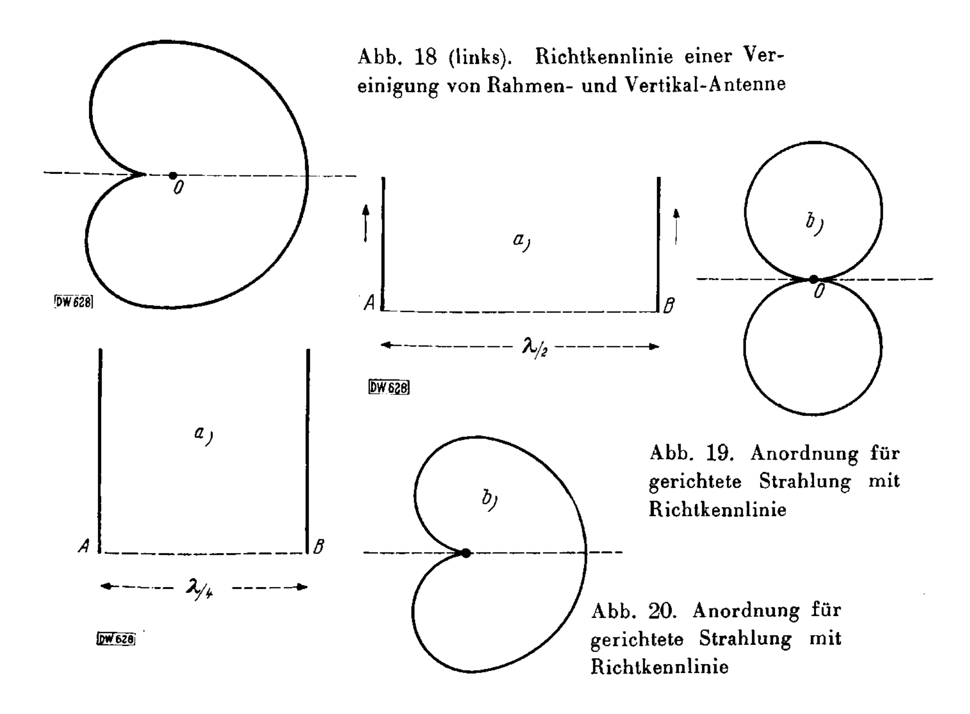


Abb. 18 (links). Richtkennlinie einer Vereinigung von Rahmen- und Vertikal-Antenne

Abb. 19. Anordnung für gerichtete Strahlung mit Richtkennlinie

Abb. 20. Anordnung für gerichtete Strahlung mit Richtkennlinie

optischen Beugungsgitter: je größer die Zahl der Gitterstriche ist, um so schärfer werden die Spektrallinien, sehr viel schärfer als bei nur zwei Strichen oder Spalten. Nimmt man zu der Antennenreihe von Abb. 21 eine zweite Reihe, II, Abb. 21a, hinzu, die von der ersteren einen Abstand von einer Viertel-Wellenlänge hat und deren Antennenströme denjenigen der Reihe I um 90° in der Phase voreilen, so heben sich die Wellen der beiden Antennenreihen in der Richtung O—B auf, in der Richtung O—A verstärken sie sich (vgl. das für Abb. 20 Ausgeführte). Die Richtkennlinie ist von der Form von Abb. 22b. Man hat also einen Sender, der mit elektromagnetischen Wellen in der

Horizontalebene annähernd dasselbe erreicht, was auf optischem Gebiet, allerdings in vollkommenerer Weise, der Scheinwerfer leistet.

Dabei ist nicht notwendig, daß man die Antennenreihe durch den Generator, der die Antennenreihe I speist, mit Strom versieht. Wenn man die Antennenreihe II nur auf die Frequenz der Generatorschwingung abstimmt, werden durch die Ströme in der Reihe I so starke Ströme in der Reihe II induziert, daß die Anordnung ebenso wirkt, wie es oben beschrieben wurde, vorausgesetzt, daß man die Verhältnisse richtig wählt. Man spricht in diesem Falle von der Reihe II

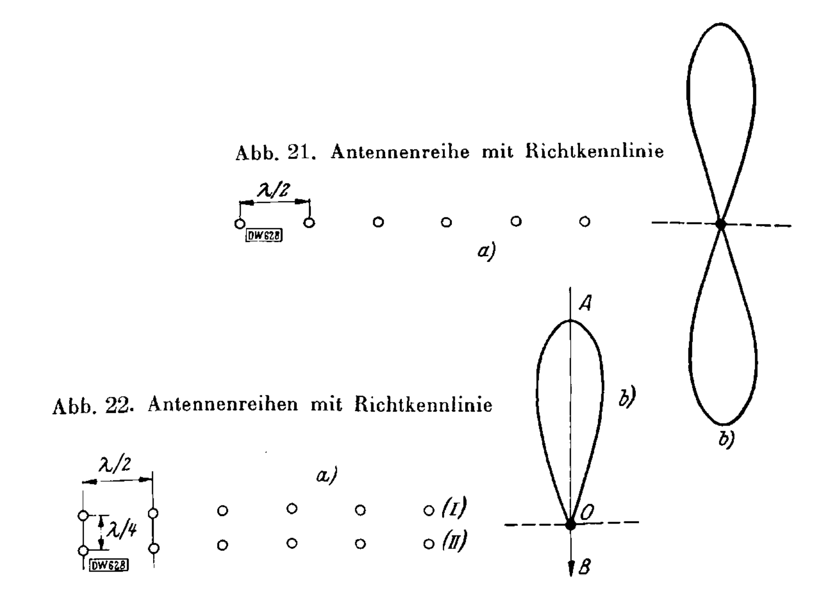


Abb. 21. Antennenreihe mit Richtkennlinie

Abb. 22. Antennenreihen mit Richtkennlinie

meist als „Reflektor"reihe und denkt sich den Vorgang so, daß die Wellen, die von der Antennenreihe I ausgehen, an der Reihe II reflektiert und dadurch in der Richtung O—A verstärkt werden.

Auch Reflektoren in der Form von Zylinderspiegeln mit parabolischem Querschnitt aus Drähten oder Metallflächen, wie sie schon *Hertz* bei seinen Versuchen benutzt hatte, sind seit den Anfängen der Funkentelegraphie vorgeschlagen und für ganz kurze Wellen auch vielfach benutzt worden. Bei vielen ähnlichen Vorschlägen waren die „Erfinder" nicht klar darüber, daß ein Spiegel nur so wirkt, wie man es von der Optik her gewöhnt ist, wenn seine Ausmaße groß gegen die Wellenlänge sind.

III. Funkpeilung

Die Verwendung der Funkentelegraphie und -telephonie zur Festlegung von Richtungen hat die Lösung von zwei Aufgaben gebracht.

1. Das erste ist die Anpeilung eines entfernten Senders, d. h. die Bestimmung der Richtung, in der sich der Sender befindet. Das Mittel, das diesem Zweck dient, ist meist ein Rahmen, der um eine vertikale Achse drehbar ist. Nach dem auf S. 24 Angeführten erhält man in ihm durch eintreffende Wellen ein Minimum der EMK induziert, wenn seine Ebene senkrecht zur Richtung der ankommenden Wellen und damit zur Richtung, in der der Sender liegt, steht. Diese Minimumstellung wird tatsächlich zur Peilung verwendet.

Um die mechanische Drehung des Rahmens entbehrlich zu machen, haben *E. Bellini* und *A. Tosi* eine hübsche Anordnung eingeführt, das „Radiogoniometer". Es besteht aus zwei vertikalen Rahmenantennen oder Antennen der Form von Abb. 17a, deren Ebenen senkrecht zueinander sind. Abgesehen von den Abstimmungskondensatoren sind an sie die Spulen S_1 und S_2 angeschlossen, deren horizontale Achsen senkrecht zueinander liegen, Abb. 23. In ihrem Innern befindet sich eine um eine vertikale Achse drehbare Spule S mit angeschlossener Detektoranordnung. Aus der Richtung der drehbaren Spule, in der die Zeichen maximale oder minimale Lautstärke haben, ergibt sich die Richtung der ankommenden Wellen.

Die zweite Aufgabe ist die, durch einen Richtstrahler, der dauernd oder in gewissen Abständen Zeichen gibt, irgend einem Fahrzeug, das einen Empfänger besitzt, die Richtung zu geben, in der es sich bewegen soll: Leitstrahl-Verfahren. Grundsätzlich läßt sich das mit jedem Richtstrahler erreichen. Denkt man sich z. B. ein Antennensystem mit der Richtkennlinie von Abb. 22 und die Richtung seiner maximalen Strahlung auf den Kurs gelegt, so bekommt das Fahrzeug Zeichen maximaler Stärke, wenn es im richtigen Kurs fährt, die Stärke der Zeichen nimmt aber ab, wenn es nach rechts oder links aus dem Kurs herauskommt. Der Kurs kann um so sicherer eingehalten werden, je schärfer die Bündelung des Senders ist.

Dieses Verfahren ist nach allen möglichen Richtungen abgeändert worden. Eine in neuester Zeit hauptsächlich in Amerika für Flugzeuge entwickelte Methode beruht auf folgendem: In der Sendestation stehen zwei Sender, deren Kennlinien die in Abb. 24 eingezeichneten Kurven I und II sind. Auf eine der gestrichelten Richtungen wird der Kurs gelegt. Wenn dann das Fahrzeug diesen Kurs einhält, so sind die Zeichen der beiden Sender gleich stark; es ergibt sich aber sofort eine verschiedene Stärke der Zeichen, wenn das Fahrzeug aus dem Kurs herauskommt. Verschiedene Anordnungen sind ausgebildet

worden, um eine Verschiedenheit der Zeichenstärke dem Gehör oder Auge in sehr empfindlicher Weise anzuzeigen.

Eine Entwicklung für etwas andere Zwecke lieferte die Funk-Drehbake: Ein Richtsender dreht seine Hauptstrahlrichtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit. In dem Augenblick, in dem ein Fahrzeug eine maximale Zeichenstärke beobachtet, weiß es, daß der

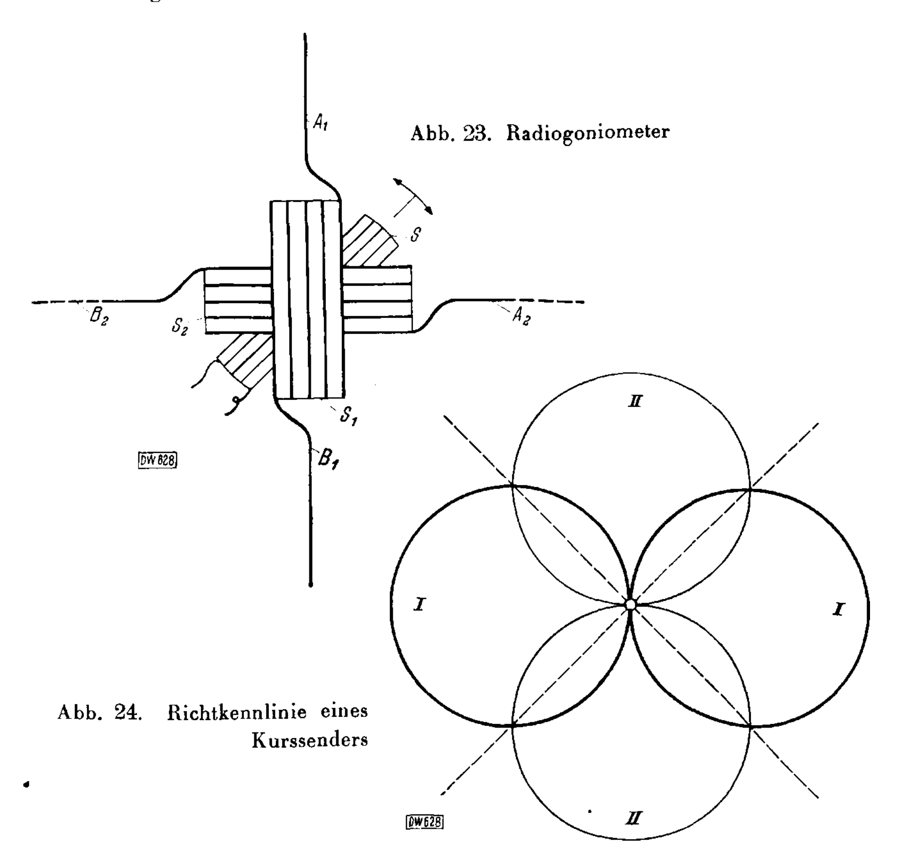


Abb. 23. Radiogoniometer

Abb. 24. Richtkennlinie eines Kurssenders

Strahl der Funkbake auf dasselbe gerichtet ist. Wenn es dann außerdem weiß, welche Richtung der Hauptstrahl der Funkbake in diesem Augenblick hat — das läßt sich z. B. dadurch erreichen, daß man durch die Funkbake für die Hauptrichtungen (N, NO usw.) bestimmte Zeichen aussendet — so kennt das Fahrzeug die Peilung der Bake, auch wenn es selbst nur einen gewöhnlichen ungerichteten Empfänger hat (*A. Artom; A. Meißner* Telefunkenkompaß, um 1912).

E. Die Frequenzfrage

Eine besonders interessante Entwicklung haben die Erfahrungen und Anschauungen über die zu verwendenden Frequenzen im Lauf der Zeit durchgemacht.

Die Wellenlängen, mit denen man in den ersten Jahren tatsächlich, bewußt oder unbewußt, arbeitete, waren ganz ungefähr gegeben durch die Höhen der verwendeten Antennen, und zwar annähernd das Vierfache derselben (vgl. S. 22). Die Höhen der damals verwendeten Antennen lagen wohl zwischen 10 und 100 m, die benutzten Wellenlängen also ganz ungefähr zwischen 40 und 400 m. Die Erfahrungen ergaben, daß die Reichweite wuchs, wenn man die Antenne höher und den Antennenstrom stärker machte.

Da der Antennenhöhe Grenzen gesetzt sind, so suchte man auf Grund dieser Erfahrung die Reichweite dadurch zu vergrößern, daß man unter sonst gleichen Umständen den Antennenstrom durch Anbringung von großen Kapazitäten am oberen Antennenende (L-, T-, Schirm-, Dachantenne) steigerte. Zur Abstimmung der Antenne auf den Generator schaltete man außerdem noch veränderliche Spulen in die Antenne ein. Die Folge beider Maßnahmen war, daß man allmählich ganz von selbst in das Gebiet großer Wellenlängen hineingeriet und bei ganz großen Stationen zu Wellenlängen von über 20 000 m gelangte.

Nun hatte schon *Hertz* aus den allgemeinen Maxwellschen Gleichungen abgeleitet, daß die Leistung, die eine Antenne (ein Dipol) bei bestimmter wirksamer Höhe und bestimmter Stromamplitude ausstrahlt, umgekehrt proportional dem Quadrat der Wellenlänge ist. Man hätte also erwarten sollen, daß der Weg, den man eingeschlagen hatte, unzweckmäßig war, weil er zwangsläufig zu einer Vergrößerung der Wellenlänge führte. Diese Überlegung, die vielfach angestellt wurde, beruht aber schließlich doch auf einem Denkfehler. Es kommt für den Empfänger nicht darauf an, wieviel der Sender ausstrahlt, sondern wieviel beim Empfänger ankommt. Dafür ist aber nicht nur maßgebend, was der Sender ausstrahlt, sondern auch sehr wesentlich, was auf dem Wege zwischen Sender und Empfänger verloren geht. Fragt man sich also, welche Frequenz am günstigsten ist, so hat man nicht nur die Ausstrahlung des Senders, sondern auch die Fortpflanzung der Wellen bei den verschiedenen Frequenzen zu berücksichtigen. Tatsächlich werden nun Wellen bei der Fortpflanzung längs des Erdbodens —, die für die damaligen Wellenlängen und Entfernungen allein in Betracht kam, — um so weniger vom Erdboden absorbiert, je länger sie sind. Das war die Erklärung für die große Reichweite langer Wellen (*J. Zenneck* 1906).

2. In ein ganz anderes Stadium trat die Frequenzfrage, als man entgegen allen bisherigen Erfahrungen die Beobachtung machte, daß verhältnismäßig schwache Stationen mit kurzen Wellen (z. B. zwischen 150 und 20 m) mindestens gelegentlich auf Tausende von Kilometern empfangen werden konnten. Die Erklärung, die sich dafür ergab, war folgende. Die Fortpflanzung der Wellen von einem Sender zu einem Empfänger kann auf zwei verschiedenen Wellen erfolgen, 1. auf dem Weg längs der Erdoberfläche (Bodenwelle) und 2. durch die Atmosphäre (Luftwelle), indem Wellenteile, die der Sender nach oben ausstrahlt, an leitenden Schichten der Atmosphäre reflektiert werden und wieder zum Erdboden und damit zum Empfänger zurückkommen, Abb. 25. Daß solche leitende (ionisierte) Schichten in der oberen Atmosphäre vorhanden seien und einen wesentlichen Einfluß auf die Wellen der Funkentelegraphie ausüben, ist zuerst von *A. E. Kennelly* und *O. Heaviside* vermutet — daher die Bezeichnung

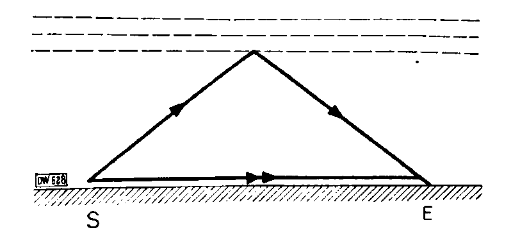


Abb. 25. Boden- und Luftwelle
einfacher Pfeil: Luftwelle
doppelter Pfeil: Bodenwelle

Kennelly-Heaviside-Schicht — und nachher durch zahlreiche Versuche anderer nachgewiesen worden. Da die Absorption der Wellen in den oberen Schichten mit ihrer geringen Luftdichte sehr gering ist, so kommen die reflektierten Wellenanteile (Luftwelle) selbst auf weite Entfernungen mit verhältnismäßig großer Stärke beim Empfänger an.

Das Wellenlängen-Gebiet, das für diese Art der Kurzwellenübertragung geeignet ist, ist nun aber nach oben und nach unten begrenzt. Wellen z. B. von 1000 m Länge werden in der Regel schon in den unteren weniger stark ionisierten Schichten der Atmosphäre reflektiert, aber auch wegen der größeren Dichte dieser Schichten sehr stark absorbiert, so daß die Luftwelle im allgemeinen für große Entfernungen nicht in Betracht kommt. Ist die Wellenlänge zu kurz, z. B. 8 m, so gehen die Wellen auch durch die am stärksten ionisierten Schichten der Atmosphäre hindurch und werden deshalb überhaupt nicht reflektiert, es kommt also eine „Luftwelle" überhaupt nicht zustande. Die Bodenwelle wird aber in diesem ganzen Wellenlängengebiet viel zu stark durch den Erdboden absorbiert, als daß sie auf größere Entfernungen verwendbar wäre.

Das Gebiet der Kurzwellen ist heute dasjenige der großen Entfernungen, wenn auch ihre Wirkung stark von dem Zustand der Atmosphäre abhängt. Nur in den Zeiten, in denen die Kurzwellenstationen durchaus nicht gehen, kann es vorkommen, daß man reumütig die Langwellenstationen mit ihren großen Leistungen wieder in Betrieb setzt, wenn man solche noch zur Verfügung hat.

3. Die letzte Stufe der Frequenzfrage stammt aus neuester Zeit. Nachdem man durch die Elektronenröhren (vgl. S. 8) die Möglichkeit bekommen hatte, ungedämpfte Schwingungen bis herunter zu Wellenlängen von Zentimetern herzustellen, untersuchte man auch die Verwendbarkeit dieser sog. „Ultrakurzwellen" für die drahtlose Übermittlung. Bei ihnen ist der Wirkungsgrad der Antennenstrahlung wegen der kurzen Wellenlänge sehr hoch. Außerdem fand man, daß für ihre Fortpflanzung weder die Leitfähigkeit des Erdbodens noch diejenige der Atmosphäre eine entscheidende Rolle spielt, daß sie sich im wesentlichen wie Lichtwellen fortpflanzen, wobei allerdings der Erdboden stets als Spiegel wirkt. Die Reichweite solcher Ultrakurzwellen ist nicht sehr groß, man erreicht aber immerhin je nach den Bedingungen Hunderte von Kilometern. Ihr ungeheurer Vorteil ist der, daß sie einen hohen Wirkungsgrad der Übertragung liefern (vgl. S. 29), sich mit einfachen Mitteln scharf bündeln lassen und deshalb von Empfängern, die außerhalb des Strahlenbündels liegen, nicht aufgenommen werden können.

F. Verwendungsbereich der Funkentelegraphie

1. Der Zweck, den man ursprünglich mit der Funkentelegraphie verfolgte, war die Übermittlung von Zeichen wie bei der gewöhnlichen Telegraphie. Es war eine gewisse Erweiterung, als man sie zur Übertragung von Sprache und Musik benützte. Diese Übertragung und zwar in der Form des Rundfunks hat der Verbreitung nach wohl alle ähnlichen Einrichtungen weit übertroffen: auf rd. 8 Millionen Rundfunkteilnehmer in Deutschland kommen nur rd. 3,5 Millionen Telephonteilnehmer.

Eine neue Anwendung ihrer ursprünglichen Bestimmung sind die Zeitzeichen, die von den verschiedensten Stationen der Erde, zum Teil mehrmals täglich, ausgesandt werden. Sie geben die Möglichkeit, jede Uhr, insbesondere auch die Schiffschronometer zu kontrollieren und erleichtern dadurch die Navigation wesentlich.

2. Etwas aus dem ursprünglichen Plan heraus fällt die Hochfrequenz-Telephonie längs Leitungen. Vorschläge dieser Art sind schon in den Anfängen der Funkentelegraphie, z. B. von *J. St. Stone,* gemacht und in Amerika mit dem Namen „Wired

Wireless" bezeichnet worden. Die Hochfrequenz-Wellen pflanzen sich dabei nicht frei in Luft, sondern längs Drahtleitungen fort. Hochfrequenz-Telephonie bildet ein außerordentlich wichtiges Nachrichtenmittel für die Hochspannungsleitungen der Überlandzentralen.

3. Die Bedeutung der Funkpeilung für Navigation und Rettungswesen ist bekannt; sie ist aber geringfügig gegenüber der Bedeutung für das Flugwesen. Dort ist die Funkpeilung ein so unentbehrliches Hilfsmittel geworden, daß, wenn heute ihre Verwendung im Flugwesen unmöglich gemacht würde, morgen sämtliche Fluglinien ihren Betrieb einstellen müßten. Es ist vielleicht nicht überall klar geworden, in welchem Maße das Flugwesen auf Gedeih und Verderb von der Funkentelegraphie abhängt.

4. Ein Gebiet, das durch die Entwicklung der Funkentelegraphie sehr stark befruchtet und aus einem mehr oder weniger tiefen Schlaf wiedererweckt worden ist, ist die Akustik, insbesondere die Raumakustik, früher das Schmerzenskind der Physiker und Architekten. Wenn sie heute in Blüte steht und eine Menge Erfolge erreicht hat, so verdankt sie das in erster Linie den Anordnungen (z. B. Verstärkern, Mikrophonen), die auf dem Boden der Funkentelegraphie entwickelt worden sind.

5. Viel näher als die Elektroakustik steht der Funkentelegraphie das Fernsehen. Das gilt nicht nur deshalb, weil das einfachste Mittel, um Fernsehprogramme zu verbreiten, die elektromagnetischen Wellen der Ultrakurzwellen-Sender sind. Es gilt auch deshalb, weil die Frequenzen, die bei den Fernsehgeräten auftreten, schon in dem Gebiet der Hochfrequenzen liegen, die man auch in der Funkentelegraphie verwendet. Die Fernsehtechnik konnte infolge davon auf alten Erfahrungen aufbauen, die bei der Funkentelegraphie gewonnen worden waren.

6. Einen ganz unerwarteten Dienst hat die Funkentelegraphie der Geophysik erwiesen als Mittel zur Erforschung der höchsten Atmosphärenschichten, die auf keine andere Weise erreichbar sind und von denen man bisher nur durch Nordlichter und Meteore ganz indirekte Kenntnis hatte. Man verfährt in der Regel so (*Breit* und *Tuve*), daß man ganz kurze Gruppen elektromagnetischer Wellen von einem Sender nach oben schickt. Sie werden dann von den ionisierten Schichten der Atmosphäre reflektiert. Man mißt ihre Laufzeit, d. h. die Zeit, die sie brauchen, um bis zur ionisierten Schicht hinauf- und wieder von dort herunterzukommen. Macht man diese Echomessungen mit mehreren Wellenlängen (*G. Gonbau* und *J. Zenneck*) oder ändert man die Wellenlänge allmählich (*E. V. Appleton*), so ist es möglich, ein gutes Bild davon zu bekommen, wie die ionisierten Schichten in der Atmosphäre verteilt sind und wie groß die Elek-

tronenkonzentration in den verschiedenen Höhen ist. Mittelbar geben diese Untersuchungen Aufschluß über die Störungen dieser hohen Schichten, über ihre Temperatur u. a. Es ist so eine ganze Wissenschaft der „Ionosphäre" entstanden. Ganz uneigennützig ist dabei die Funkentelegraphie, die die experimentellen Methoden geliefert hat, nicht. Sie hat aus den Untersuchungen selbst großen Nutzen gezogen: die Ionosphäre ist ja (vgl. S. 30) das Gebiet, in dem die Fortpflanzung der Wellen gerade bei dem Verkehr auf ganz große Entfernungen sich abspielt.

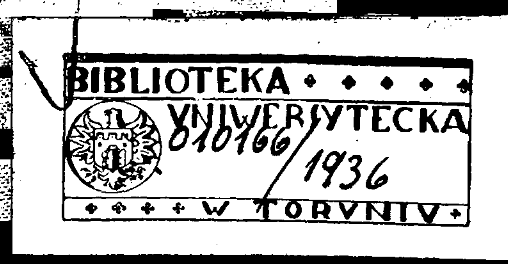
Vielleicht gibt es keinen Zweig der Technischen Physik, bei dessen Entwicklung sich neue Gedanken und neue Verwendungsgebiete so sehr überstürzt haben wie bei der Funkentelegraphie. Und wenn man bedenkt, daß man heute nach jedem Punkt der Erde mit Sendern ganz bescheidener Leistung unter Ausnützung der ionisierten Schichten der Atmosphäre telephonieren kann, so muß man wohl zu dem Ergebnis kommen, daß auch bezüglich der erzielten Erfolge die Funkentelegraphie unerreicht ist.

Es sieht so aus, als ob seit einigen Jahren die romantische Zeit der Entwicklung vorüber sei und als ob eine ruhigere Entwicklung und Kleinarbeit eingesetzt habe mit dem Ziel der allmählichen Verbesserung derjenigen Verfahren und Geräte, die sich praktisch bewährt haben. Aber man muß sich davor hüten, auf diesem Gebiete etwas zu prophezeien.








BIBLIOTEKA
VNIWERSYTECKA
010166/1936
W TORVNIV

